

XII magistrantide teaduskonverents „Inimene ja tehnoloogiad“

19. aprill 2018.

Artiklite kogumik



EMÜ tehnikainstituut 2018

Sisukord

Varbmehhanismiga töötavate trenaažööride kinemaatika analüüs	3
A.Mänd	
Tööõnnetused Eesti põllumajanduses	11
A. Enn, E. Merisalu	
Energiasääst tootmises äratõmbe- ja filterseadmete kasutamisel	18
Andrei Jevtuševski	
Elektriautode akude mahtuvuse vähenemine eluea jooksul	26
A. Petrov	
Autopargi haldamine	32
A.Vool	
Hooldustöötajate tööeripära ja skeletilihaste vaevused	41
G. Must ¹ , E. Merisalu ¹ , M. Pääsuke ²	
Kontaktivaba temperatuurimõõtmise rakendamise võimalused	47
H. Linde ¹	
E-õppevahendi vajadus tööga seotud luu- ja lihaskonna ülekoormushaiguste ennetamiseks	53
I. Avi, M. Reinvee	
Terviseriskid, skeleti-lihassüsteemi vaevused ja töövõime naiskassapidajatel	57
K. Kallion ¹ , T. Sirge ¹	
Päikesepaneelide hinnadünaamika	63
K. Kangro, A. Allik, A. Annuk	
Skeleti-lihaskonna vaevuste esinemine loomaarstide ja loomaarstide abiliste seas	68
K. Kattai, E. Merisalu	
Põllutöömashinate kaalujaotus	73
K. Kelgo, A. Küüt	
Puidutööstuse töötajate töökeskkond ja tervis	77
K. Kikas, E. Merisalu	
Skeleti-lihassüsteemi vaevused, kehaline aktiivsus ja töövõime naiskontoritöötajatel	83
K. Kindsiko ¹ , T. Sirge ¹ , M. Pääsuke ²	
Madalpingevõrgu pingeprobleemi lahendamine lisaseadmega	87
K. M. Põldsam, T. Peets	

<i>Kallurhaagise tagaluugi lukustuse lahendused</i>	92
K. Pihlo, A. Aan	
<i>CFD meetodi rakendamine pneumaatilise klapi analüüsiks</i>	96
K.Türk, M.Madissoo	
<i>Masinatööstusettevõtte tootmistsehhi töötajate töö raskusaste ja energieetiline koormatus</i>	101
L. Juhanson, B. Reppo	
<i>PID regulaatori häälestamine biomassi eeltöötlussüsteemile</i>	106
M. Keisk, V. Rooni, E. Jõgi	
<i>Laparoskoopia simulatsiooni vajalikkus veterinaarmeditsiini tudengite õppetöös</i>	111
M. Loorits, E. Merisalu	
<i>Pöördprojekteerimine</i>	116
R. Laanemets, T. Leemet	
<i>Päikeselt pärineva kiiritustiheduse mõõtmine püranomeetriga kasutades Raspberry Pi-d andmesalvestina</i>	122
R. Loog, V. Palge	
<i>Taimede kasvutingimuste parameetrite seiresüsteemi anduriseadme arendus</i>	127
R. Mets, V. Palge	
<i>Ukse avamismehhanism elektrilisele ratastoolile</i>	132
T. Terve	
<i>SMED metoodika rakendamine tootevahetustel</i>	137
V. Ilumäe	
<i>Teekatte pinna analüüs infrapunaanduri abil</i>	145
V.Kört, A.Küüt	
<i>Läbivoolulise lämmastikplahvatusel põhineva bioetanooli tootmiseseadme plahvatusdüüsi arendamine</i>	150
V. Polis, V. Rooni, T. Kikas	

Varbmehhanismiga töötavate treenažöörade kinemaatika analüüs

A.Mänd

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

Abstract. Nowadays healthy and active lifestyle is becoming more and more important. A lot of different outdoor training equipment is being developed for parks and recreation areas. Based on the needs of the market, training equipment prototypes were designed and manufactured in AV Group OÜ. On the basis of the feedback from people, the machines have justified themselves well.

The aim of the article is to carry out a kinematic and dynamic analysis of training devices in order to improve the functional properties.

Training equipment is primarily for public use. In order to properly assess the workload on the device, people would need to know how much weight is actually involved in training. By knowing the actual loads, the mobility of the equipment could be made in such a way that the load would be optimal. The use of an optimal mechanism allows better development of human physical and mental health. The problems of kinematics and dynamics are discussed using a graphical method. The analysis is based on the Autodesk Inventor 2017 software dynamic simulation environment. Based on the results obtained, it is possible to calculate strength and durability of the machines by the finite element method later.

Keywords: Link mechanism; trainer; machine; outdoor gym; training.

SISSEJUHATUS

Tänapäeval on üha rohkem hakatud tähelepanu pöörama tervislikule eluviisile. Terviseradadele, parkidesse ja puhkealadelele on hakatud paigaldama erinevaid välistreeningseadmeid. Oluline on tagada seadmete kasutusmugavus ja -ohutus. Lähtudes turuvajadusest projekteeriti ja valmistati ettevõttes AV Group treeningseadmete prototüübid. Inimeste tagasiside põhjal on masinad ennast heast küjest õigustanud.

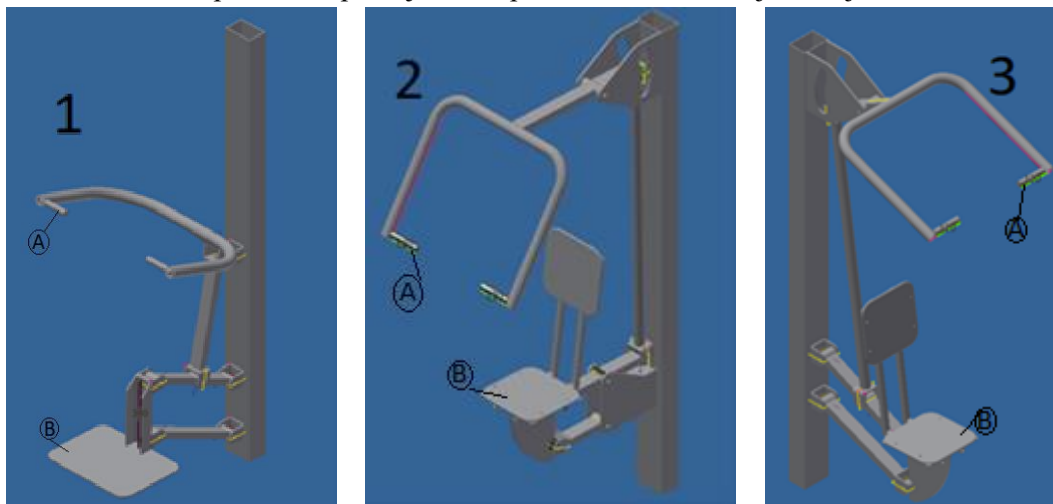
Artikli eesmärk on teostada kinemaatiline analüüs projekteeritud treenažööradele, et parendada olemasolevate treenažöörade funktsionaalseid omadusi.

Treeningseadmed on mõeldud eelkõige üldkasutamiseks. Seadmel töötamise koormuse hindamiseks oleks inimestel vaja teada, kui suurt raskust tegelikult tõstetakse. Teades tegelikke koormusi, saaks muuta seadmete jõuõlgasid ja liikumisekäike selliselt, et koormus oleks optimaalne. Optimaalse mehhanismi kasutamine võimaldab paremini arendada inimese kehalist kui ka vaimset tervist. Käsitletakse kinemaatika ja dünaamika probleeme, kasutades graafilist meetodit. Analüüsi teostamiseks kasutatakse Autodesk Inventor 2017 [1] tarkvara dünaamilise simulatsiooni keskkonda. Saadud tulemuste põhjal on võimalik teostada hiljem lõplike elementide meetodil tugevusarvutus.

MATERIAL JA METOODIKA

1. Arendatavate masinate valik

Seadmete kinemaatika ja dünaamika simuleerimiseks on uuritud varbmehhanismiga trenadžööre. Nendeks on tõstepink, rinnapress ja tõmbepink. Seadmed on kujutatud joonisel 1.



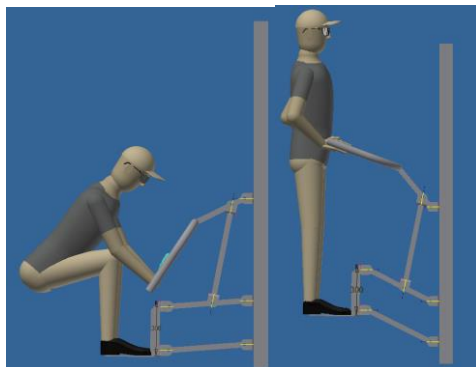
Joonis 1. Varbmehhanismiga trenadžöörid, 1- tõstepink, 2- rinnapress, 3- tõmbepink, A-käepide, B-astmelaud/iste.

Töös on kasutatud Autodesk Inventor Professional tarkvara dünaamilise simulatsiooni keskkonda. Dünaamiline simulatsioon võimaldab simuleerida seadme liikumist, leida erinevate punktide siirete, liikumise kiiruste ja kiirenduste väärtused. Tarkvara jagab mehhanismi liikumistrajektoori ette määratud arvu punktideks. Igas punktis arvutatakse soovitud parameetrid ja tulemused on võimalik kuvada kas graafiliselt või tabelis arväärtustena. Esmalt määratakse erinevate lülide vabadusastmed, materjalid ja gravitatsioonjõu suund, liikumiste raja tingimused ja defineeritakse erinevad koormused. Seejäral märgitakse mudelile iseloomulikud punktid, mille liikumist tahetakse jälgida.

Uurimustöö ülesandeks on välja selgitada käepidemetele mõjuvad jõud ja käepideme liikumistrajektoor. Leitakse jõud, mis on kogu liikumisulatusel vajalikud käepideme paigal hoidmiseks. Sellisel juhul on kõik kiirused ja kiirendused võrreldes nulliga. Seadme käepidemele mõjuva jõu hindamiseks on kõige illustratiivsem meetod kasutada suhet inimese kehakaaluga. Teadmata inimeste kaalu, ei saa hinnata, mitu protsenti seadme hoovastiku raskusjõust on inimese kehakaalust. Töös on inimese raskusjõud asendatud 1000 N suuruse jõuga. 1000 N suurust raskusjõudu omab ligikaudu 102 kg kaaluv inimene.

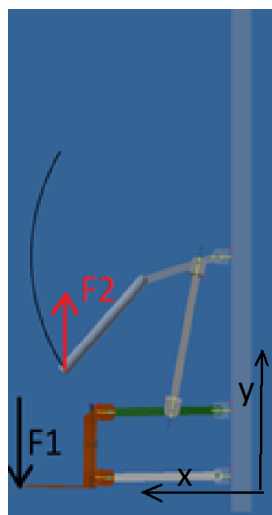
Masinate tööpõhimõtete kirjeldamiseks on kasutatud GRAB CAD inimese mudelit [2]. Mudelinimese pikkus on 180 cm. Seadme liikumise käigud on arvestatud selliselt, et keskmist kasvu inimene ei saaks harjutust tehes seadme liikumisulatust ületada.

Tõstepink on mõeldud simuleerimaks jõutõste harjutust. See harjutus treenib peamiselt jala-, tuhara- ja seljalihaseid. Joonisel 2 on kujutatud tõstepingi tööpõhimõte.



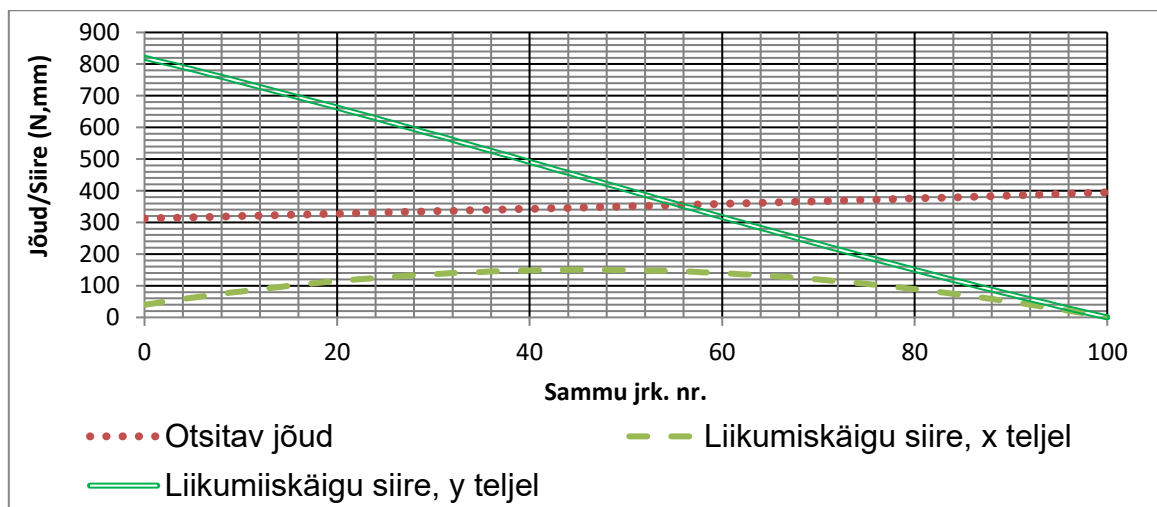
Joonis 2. Tõstepingi tööpõhimõte.

Seadme kinemaatika ja dünaamika uurimiseks defineeritakse jalaplatvormile raskusjõu suunaline jõud 1000 N ja otsitav jõud on defineeritakse vertikaalselt käepidemele. Simulatsioonis jagatakse kogu seadme töökäik 100 võrdseks punktiks. Käepideme liikumise illustreerimiseks on joonisel liikumisetrajektor. Käepideme liikumisetrajektoril liikumist uuritakse nii x- kui ka y-telje sihis. Analüüsi lähteskeem on joonisel 3.



Joonis 3. Tõstemasina analüüsi lähteskeem, F_1 - 1000N, F_2 - otsitav jõud.

Kuna tõstemasina otsitava jõu vektor on paralleelne y-teljega ja suunaga üles, on resultantjõud võrdeline y- telje suunaliselt mõjuva jõuga. Leitud andmed on kujutatud joonisel 4.



Joonis 4. Tõstemasina analüüsi tulemused.

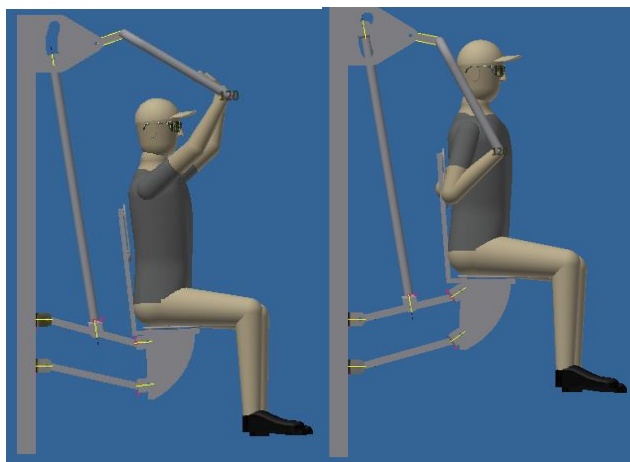
Jooniselt 4. selgub, et käepidemele rakendatav jõud tõuseb käepidet alla poole liigutades. Kõige kõrgemas asendis on jõud käepideme paigal hoidmiseks 394,8 N ja kõige madalamas asendis 312,2 N. Teades, et astmelauale mõjuv jõud on 1000 N, saab leida protsentuaalsed koormused käepidemele, valemist 1. Leitav protsentuaalne suhe kehtib 102 kg kaaluva inimese puhul.

$$n_i = \frac{F_i \times 100}{F_1} \quad (1)$$

kus F_1 on astmelauale mõjuv jõud;
 F_i – jõud käepidemel vastavas jrk. nr;
 n_i – protsentuaalne suhe inimese keharaskuse ja tõstetava massi vahel.

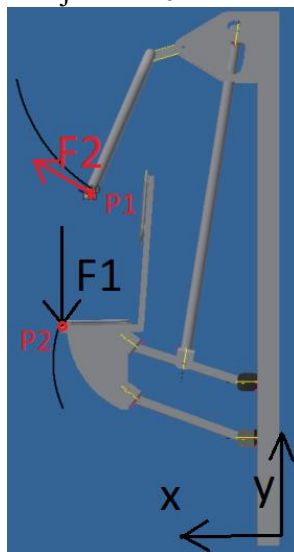
Kõige kõrgemas asendis tõstetakse ligikaudu 31,7% ja käepideme madalaimas asendis 39,5% 102 kg kaaluva inimese keharaskusest.

Tõmbepink on mõeldud "lõuatõmbe" harjutuse simuleerimiseks. Seadme harjutuse asendid on kujutatud joonisel 5.



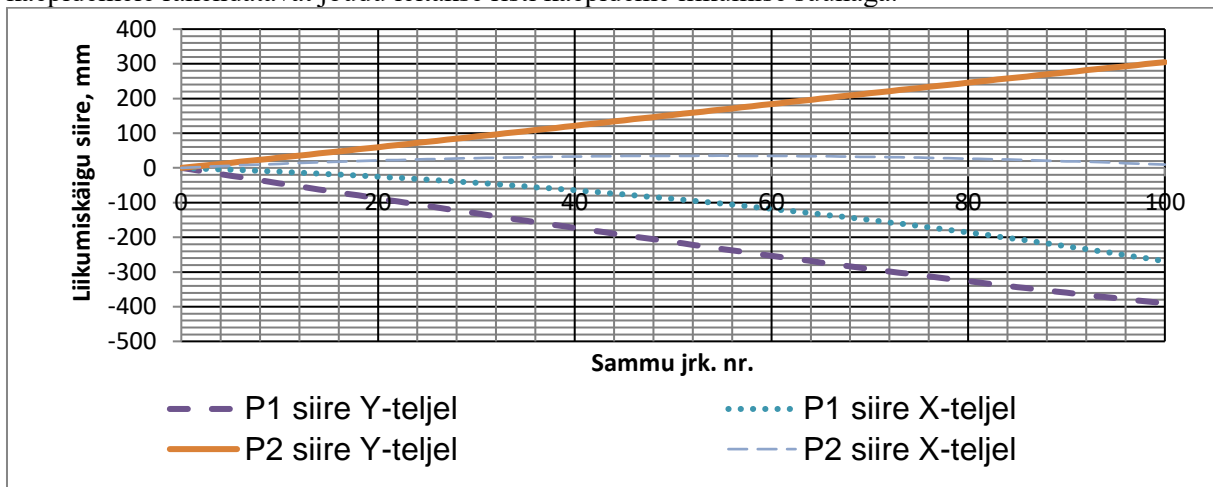
Joonis 5. Tõmbemasina tööpõhimõte.

Kirjeldatud seadmega saab treenida peamiselt ülaselga ja triitsepsit. Harjutus on hea alternatiiv lõuatõmbele, kuna koormus on väiksem. See võimaldab inimestel tavalise lõuatõmbe jaoks jõudu treenida. Teostatud analüüsi lähteskeem on joonisel 6.



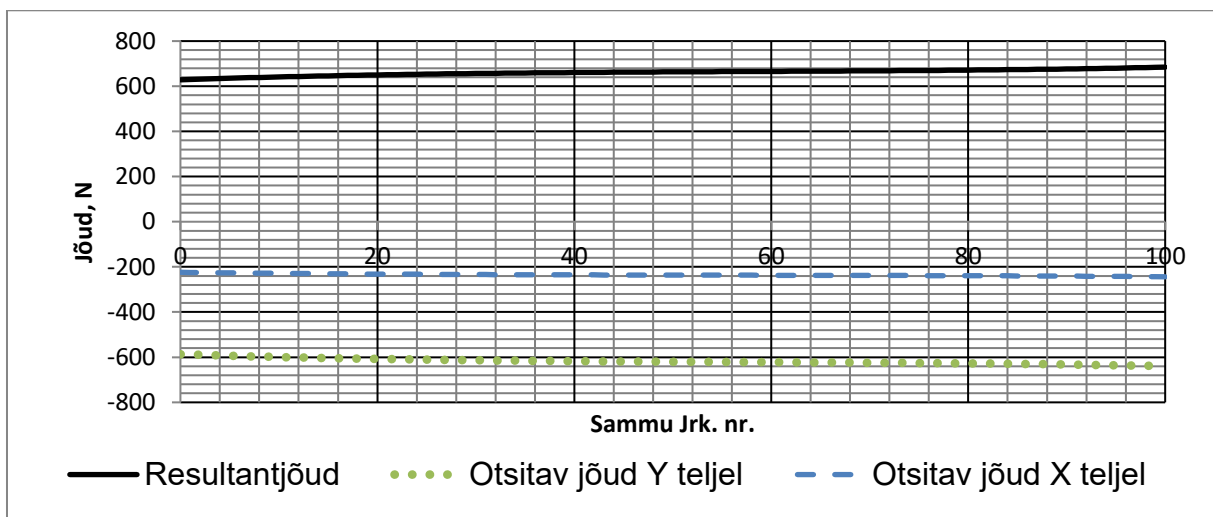
Joonis 6. Tõmbemasina analüüsi lähteskeem, F1- 1000N, F2-otsitav jõud, P1-Punkt käepidemel, P2-punkt istmel.

Kuna istepink on kinnitatud kahe liigendiga, liigub see elliptilisel joonel, käepide on kinnitatud ühe lüluga, seega liigub see mööda ringjoont. Istmele on rakendatud jõud raskusjõu suunas $F_1=1000$ N, käepidemele rakendatavat jõudu leitakse risti käepideme liikumise suunaga.



Joonis 5. Tõmbemasina siirdegraafikud käepidemel (P1) ja istmel (P2).

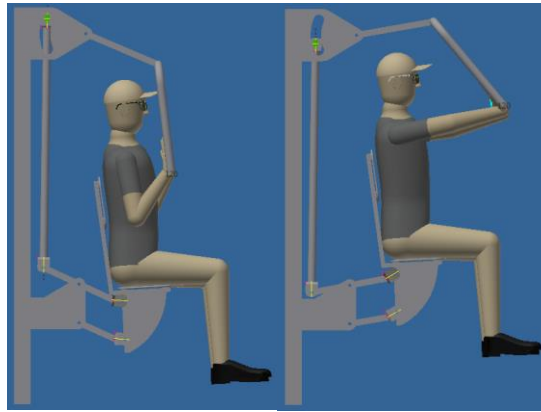
Kahe punkti liikumisgrafikuid võrreldes on näha, et uuritavad punktid liiguvad y teljel vastassuunas. P2 punkti liikumine x-teljel on minimaalne, alguspunkti maksimaalselt 35 mm, samas P1 punkti liikumine x-teljel on 269,2 mm. Joonisel 6. on kujutatud tõmbemasina dünaamika analüüsi tulemused.



Joonis 6. Tõmbemasina dünaamika analüüsi tulemused.

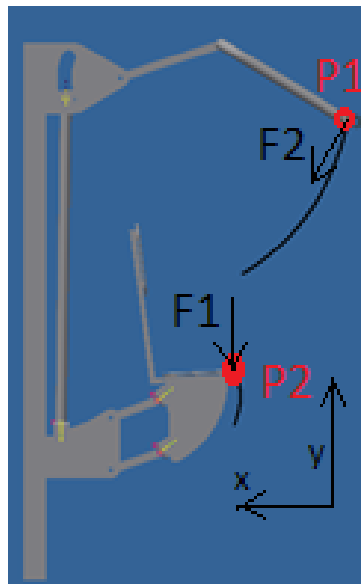
Käsi puu ülemises asendis on resultantjõud 628 N ja madalaimas asendis 684 N. Kasutades valemit 1, saame arvutada protsentuaalsed väärtused, iseloomustamaks seadme vastupanujõudusid. Kõrgemas asendis mõjub käepidemele 62,8 % ja madalaimas asendis 68,5 % keharaskusest.

Rinnapress on mõeldud eelkõige rinnalihaste ja käte treenimiseks. Harjutus on hea alternatiiv kätekõverdustele. Rinnapressi tööpõhimõte on kujutatud joonisel 7.



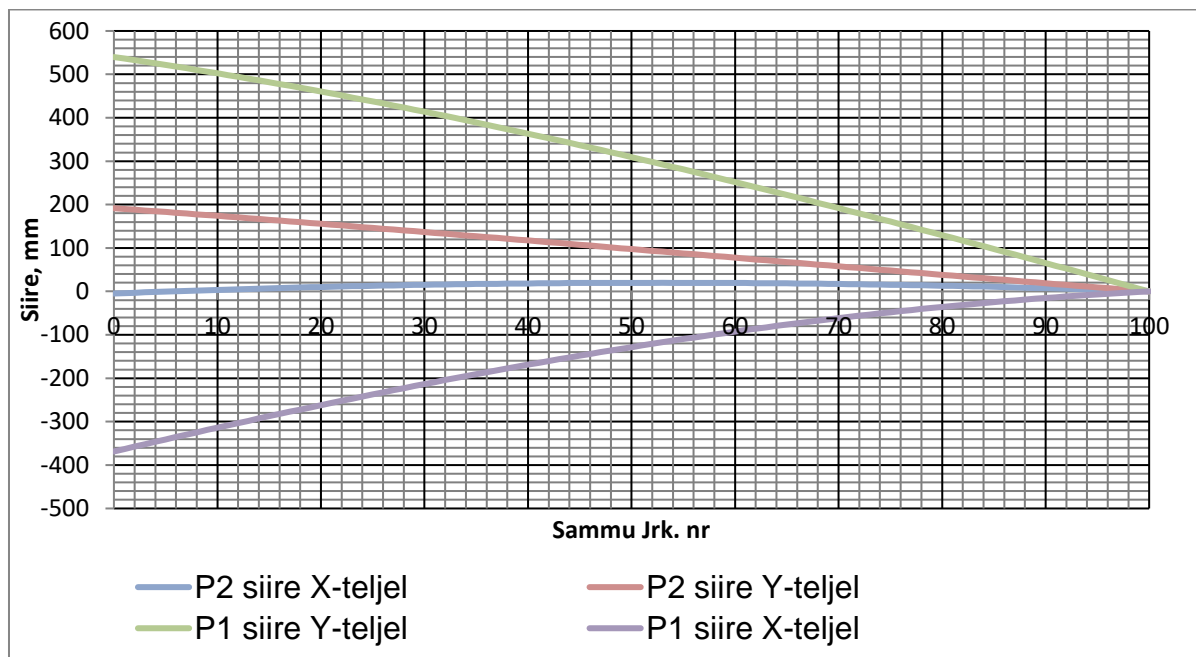
Joonis 7. Rinnapressi tööpõhimõte.

Sarnaselt tõmbemasinale, on istepink kinnitatud kahe lüluga ja käepide ühega, sellest tulenevalt on ka liikumistrajektorid sarnased. Joonisel 8. on kujutatud rinnapressi analüüsi lähteskeem.



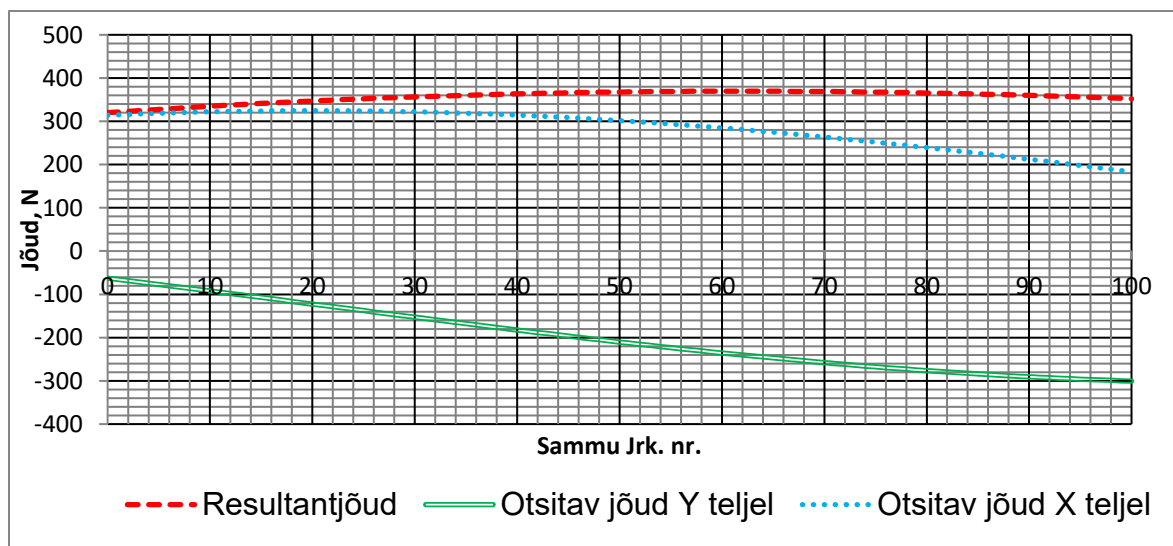
Joonis 8. Rinnapressi analüüsi lähteskeem, F_1 - 1000N, F_2 - otsitav jõud, P1-punkt käepidemel, P2-punkt istmel.

Leitakse rinnapressi käepideme (P1) ja istme (P2) siirded x ja y teljel. Tulemused on kujutatud joonisel 9.



Joonis 9. Rinnapressi siirdegraafikud käepidemel (P1) ja istmel (P2).

Nii käepide kui ka iste liiguvad y-teljel ühes suunas. Istme (P2) liikumine x-teljel on marginaalne, y-teljel maksimaalselt 191,6 mm. P1 punkti liikumine x-teljel on 186,2 mm ja y-teljel 384,1 mm. Joonisel 10. on kujutatud rinnapressi dünaamika analüüsi tulemused.



Joonis 10. Rinnapressi dünaamika analüüsi tulemused.

Käsi puu ülemises asendis on resultantjõud 320,1 N ja madalaimas asendis 352,2 N, kusjuures maksimaalne jõud on 369,6 N, sammul jrk. nr. 65. Kasutades valemit 1, saame arvutada protsentuaalsed väärtused, iseloomustamaks seadme vastupanujõudusid inimese kehakaalu järgi. Kõrgemas asendis mõjub käepidemele 32 % ja madalaimas asendis 35 % keharaskusest.

TULEMUSED JA ARUTELU

Töö käigus selgusid jõud käepidemele, mis on vajalikud seadmete liikumisulatuse vältel jõudude tasakaalustamiseks. Lisaks selgus, mis suunas ja kui palju käepidet liigutades survejõud kasvab või kahaneb. Kõikidel seadmetel kasutati ühesuguseid koormuseid ja selgus, et suurimat jõudu tuleb kasutada tõmbepingil treenides. Tõstepingi ja rinnapressi koormused on ligilähedased. Teades, et jalalihased on inimese kehas ühed tugevaimad, oleks mõistlik muuta tõstepingi jõuõlgasid selliselt, et

tõstetav raskus oleks suurem. Tõmbepingil töötamiseks vajaminev jõud on liialt suur, seega võiks ka selle seadme jõuõlgasid muuta selliselt, et vajaminev jõud oleks väiksem. Parema iseloomustuse saamiseks tuleks sarnaseid arvutusi teostada näiteks iga 10 kg keharaskuse intervalliga, mis annab parema ettekujutuse liigutatavast raskusest.

JÄRELDUSED

Arvestades, et treeningseadmetega töötab 102 kg kaaluv inimene, leiti, et tõstemasinaga treenides liigutab inimene 31,7-39,5 %, tõmbemasinaga 62,8-68,5% ja rinnapressiga 32-35% keharaskusest. Analüüs andis piisavalt andmeid, et edaspidi oleks võimalik seadmete mehhanismide jõuõlgasid paremini optimiseerida.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] „Autodesk Inventor ülevaade,“ Autodesk, 2018. [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://www.autodesk.eu/products/inventor/overview>. [Kasutatud 01 Märts 2018].
- [2] L. Jaeseol, „GRAB CAD,“ [Võrgumaterjal]. Kättesaadav: <https://grabcad.com/library/human-man-2>. [Kasutatud 10 Jaanuar 2018].

Tööõnnetused Eesti põllumajanduses

A. Enn, E. Merisalu

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Farmitehnika ja ergonoomika osakond

Abstract. Occupational accidents in agriculture are a problem all over the world. Even if most of the sectors become more and more automated, farmers, family members and farm workers are facing risks at work that is higher than in most other occupations. Many accidents involve the handling of machinery or animals. There are obvious humanitarian reasons for making human work safer. In addition, accidents cost money and resources to the injured, to the employer and to the national economy as a whole. In this study we analyze accidents at work in Estonian agriculture in 2008 – 2017. The objective is to describe work related accidents by the number - light, serious and fatal accidents at work, also by sex, the type and the location of injuries and the place/county it happened. Method – The database of accidents in agriculture was obtained from the Estonian Labor Inspectorate and the data was described by absolute numbers, percentages and incident rates. Results. The total number of accident at work in agriculture was 1696, the incident rate was in the highest point at 2017 – 801 accidents per 100 000 workers. Most commonly light accidents take place and slightly more commonly with men. There were three types of particularly common injury, namely, wounds and superficial injuries (40,4% of the total), bone fractures (25,6%) and concussion and internal injuries (16,2 %). The location of the injury was most commonly upper or lower limbs (35,7% and 33%). The biggest number of accidents was taken place at Järva county.

Keywords: work accidents, agriculture, gender, severity, regional distribution

SISSEJUHATUS

Vaadetes ajas tagasi, näeme, et need ettevõtlusvaldkonnad, mille töökeskkond on olnud väga ohtlik ja riskide rohke, muutuvad üha enam automatiseeritumaks ning kvaliteedinõuetelt üha rohkem reglementeeritumaks. Sellise arengu üheks eesmärgiks on töökeskkonna muutmise võimalikult turvaliseks. Kuid põllumajandus on suures osas jäänud muutumatuks, sest valdavalt mängivad siin rolli väikesed või lausa pereettevõtted, kellele justkui ohutusreeglid või seadustega etteantud nõuded ei laiene. Seega on põllumajandus kogu maailmas endiselt üks kõige ohtlikumatest töökeskkondadest. [1]

Kogu põllumajandussektoris on üle maailma hinnanguliselt umbes 1,3 miljardit töötajat – see moodustab poole maailma tööjõust. Kui võtta arvesse kõik tööga seotud surmajuhtumid, vigastused ja tervisehäired on see üks kolmest kõige ohtlikumast tegevusvaldkonnast (koos ehitus- ja kaevandusvaldkonnaga). Rahvusvahelise Tööorganisatsiooni (*ILO, International Labor Organisation*) hinnangul sureb vähemalt 170 000 põllumajandustöötajat igal aastal – seega on põllumajandustöötajatel kaks korda suurem risk sattuda surmaga lõppevasse tööõnnetusse kui teiste tegevusvaldkondade töötajatel. Viimase kümne aasta jooksul on surmaga lõppenud tööõnnetuste arv põllumajanduses endiselt kõrgel tasemel, kuigi paljudes teistes sektorites on see arv vähenenud. Lisaks mainitud surmaga lõppenud tööõnnetustele saavad miljonid põllumajandustöötajad vigastada tööõnnetustes, mis on sageli seotud just masinatega, loomadega ja kemikaalidega. Samuti on põllumajanduses laialt levinud tööõnnetustest mitte teavitamine, mis muudab olemasoleva ametliku statistika veelgi hüllemaks. [2, 3]

Veel kahekümnenda sajandi alguses oli eestlaste üheks põhiliseks tegevusalaks põllumajandus, kuid tänapäeval töötab Eestis selles sektoris kõigest mõni protsent kõikidest töötajatest, täpsemalt – 2017. aastal oli hõivatute arv põllumajandussektoris 3,5% kõikidest tegevusaladest. Võrdlusena võib tuua 1989. aasta, kui põllumajandussektor moodustas ligi 21% kõikidest tegevusaladest. [4]

Põllumajanduses tehtav töö on olnud ajalooliselt ja on ka tänapäeval füüsiliselt raske, vajab palju abitööjõudu, töökeskkonnatingimused on sageli üsna halvad ja lisaks pööratakse tööohutusele vähe tähelepanu. Kui tänapäeval on enamik tegevusi mehhaniseeritud ja töökeskkond mõnevõrra paranenud, on vaatamata suurtele muutustele põllumajanduses säilinud traditsioonilised riskid, mis on omased antud sektori töökeskkonnale (nt töö loomadega ja põllumajanduslike masinatega). Neid riske on võimalik teadliku suhtumise ja käitumise teel vähendada ning seega tööõnnetusi vältida. [5]

Põllumajanduses on registreeritud tööõnnetuste arv viimase kümne aasta kohta järgmine: 2008. aastal 189 tööõnnetust, 2009. aastal 143 tööõnnetust, 2010. aastal 150 tööõnnetust, 2011. aastal 164 tööõnnetust, 2012. aastal 150 tööõnnetust, 2013. aastal 163 tööõnnetust, 2014. aastal 190 tööõnnetust, 2015. aastal 177 tööõnnetust, 2016. aastal 185 tööõnnetust, 2017. aastal 185 tööõnnetust.

Euroopa Liidus juhtunud tööõnnetuste kohta kogub statistikat *Eurostat*, kuid on raske võrrelda Euroopa Liidu siseselt tööõnnetuste arvu kümne aasta taguse ajaga, sest mitmed suured riigid on vahepeal lisandunud. Kuna hetkel ei ole avaldatud infot viimaste aastate kohta, saame rääkida 2013. ja 2014. aastast. 2014. aastal toimus Euroopa Liidu 28 liikmesriigis ligi 3,2 miljonit surmaga mittelõppenud tööõnnetust (mille puhul võeti vähemalt neli päeva haiguslehte) ja 3739 surmaga lõppenud tööõnnetust, s.o. üks surmaga lõppenud tööõnnetus 850 mitte surmaga lõppenud tööõnnetuse kohta (suhe 1:850). Võrreldes 2013. aastaga kasvas nii surmaga lõppenud kui mittelõppenud tööõnnetuste arv. [6]

Lisaks tööõnnetuste absoluutarvudele saab neid väljendada ka seoses hõivatud isikute arvuga, s.o. esinemissagedus. Esinemissagedus annab märku tööõnnetusse sattumise tõenäosuse kohta. 2013. ja 2014. aastal surmaga lõppenud tööõnnetustest madalaimad esinemissagedused oli Rootsis, Ühendkuningriigis, Soomes, Kreekas, Hollandis ja Islandil – vähem kui üks tööõnnetus saja tuhande töötaja kohta, samas kui suurimad väärtused – rohkem kui neli õnnetust saja tuhande töötaja kohta esinesid Bulgaarias, Lätis, Leedus ja Rumeenias. Surmaga mittelõppenud tööõnnetuste osas oli madalamad väärtused (alla 100 õnnetuse saja tuhande kohta) Kreekas, Bulgaarias ja Rumeenias ja kõrgeim väärtus (üle 3000 õnnetuse saja tuhande kohta) Prantsusmaal. Eriti madalate väärtuste osas võib aga eeldada, et neis Ida-Euroopa riikides pole riigipoolne toetus tööõnnetuse korral piisav ja seetõttu jäävad paljud tööõnnetused registreerimata, surmaga lõppenud tööõnnetuste osas on veidi teisiti sest neid ei ole võimalik varjata. [6, 7]

Tööõnnetusse sattunud meeste osakaal oli märkimisväärselt suurem võrreldes naistega – 68,7% surmaga mittelõppenud tööõnnetustest toimus meestega. [6]

Osa soolisest erinevusest võib seostada asjaoluga, et hõivatute seas ongi rohkem mehi kui naisi, kuid ka peale tingimiste võrdsustamist on näha, et meeste osas jääb tööõnnetustes esinemissagedus tunduvalt kõrgemaks võrreldes naistega. Sooline erinevus on kõige väiksem Rootsis, Taanis, Prantsusmaal ja ka Norras, seevastu Austrias oli meeste esinemismäär 3,3 korda, Maltal 3,5 korda ja Rumeenias lausa 3,8 korda kõrgem kui naistel. [6]

Teine põhjus, miks meeste osas on õnnetusjuhtumite arv suurem, on seotud majandustegevusega, kus nad tõenäoliselt töötavad – tööõnnetuste arv varieerub suurel määral sõltuvalt majandustegevusest ja on kallutatud nende valdkondade suunas, kus töötab rohkem mehi. Kõigist surmaga lõppenud tööõnnetustest 67,2% ja surmaga mittelõppenud õnnetustest 44,9% moodustasid järgmised valdkonnad – ehitus, transport ja ladustamine, tootmine ning neljandana põllumajandus. 14,3% surmaga lõppenud tööõnnetustest juhtus just põllumajandussektoris. [6]

Analüüsides 2014. aasta andeid vigastuse liigi järgi, võib öelda, et kõige rohkem s.o. 30,0% kõikidest vigastustest oli seotud haavade ja pindmiste vigastustega, sellele järgnesid 27,2%-ga nihetused, nikastused ja venitused, seejärel põrutused ja sisemised vigastused (17,2%) ja luumurrud (11,5%). [6]

Ühed sagedamini tööõnnetusi põhjustavad tegurid põllumajanduses on masinad, täpsemalt traktorid. Paljud õnnetused juhtuvad masinate ebaõigest kasutamisest, valedest töövõtetest või masina ehituse ja konstruktsiooniga seotud vigadest. Töötaja võib masina pealt maha kukkuda, selle alla jääda või masina ja mingi teise seadme vahele kinni jääda. Sellised õnnetused lõpevad sageli surmaga. [8, 9]

Itaalias viidi läbi uuring, mille käigus uuriti põllumajanduses kasutatavaid traktoreid ja tulemusena leiti, et 1,7 miljonist kasutatavast traktorist 35% olid vanemad kui 44 aastat ja 50% olid vanemad kui 25 aastat. Vanemad traktorid on aga tunduvalt ebaturvalisemad – neil puuduvad sageli turvavööd ning süsteem, mis kaitseb traktori ümber minemise eest (sage surmaga lõppenud õnnetuse põhjus). [10]

Teiseks suurimaks tööõnnetuste põhjuseks põllumajanduses on loomad – mitmete uuringute andmetel moodustavad suure osa tööõnnetustest (surmaga mittelõppenud) just hobused või veised (Eesti põllumajanduses veised) [11, 11]. Ühes suuremas vigastusi analüüsivad uuringus tuvastasid autorid, loomadega olid seotud 12% kuni 33% kõikidest tööõnnetustest, see seos oli seda suurem, mida rohkem oli töötaja eksponeeritud loomadega kokkupuutele ja loomade lähedusele [13]. Teises uuringus, mis viidi läbi farmis töötavate naiste seas, leiti, et lausa 43% tööõnnetustest oli põhjustatud loomade poolt [14].

Antud uurimuse eesmärk on anda ülevaade tööõnnetustest Eesti põllumajandussektorist viimasel kümnendil.

MATERJAL JA METOODIKA

Käesolev artikkel kirjeldab ühte osa läbilõikeuuringust tööõnnetuste esinemisest Eesti põllumajandussektoris aastatel 2008-2017. Tööõnnetuste statistika põhineb tööandjate poolt Tööinspeksioonile ametlikult esitatud kirjalike tööõnnetuste teatiste andmetel. Informatsioon tööhõive kohta on pärit Statistikaameti kodulehelt.

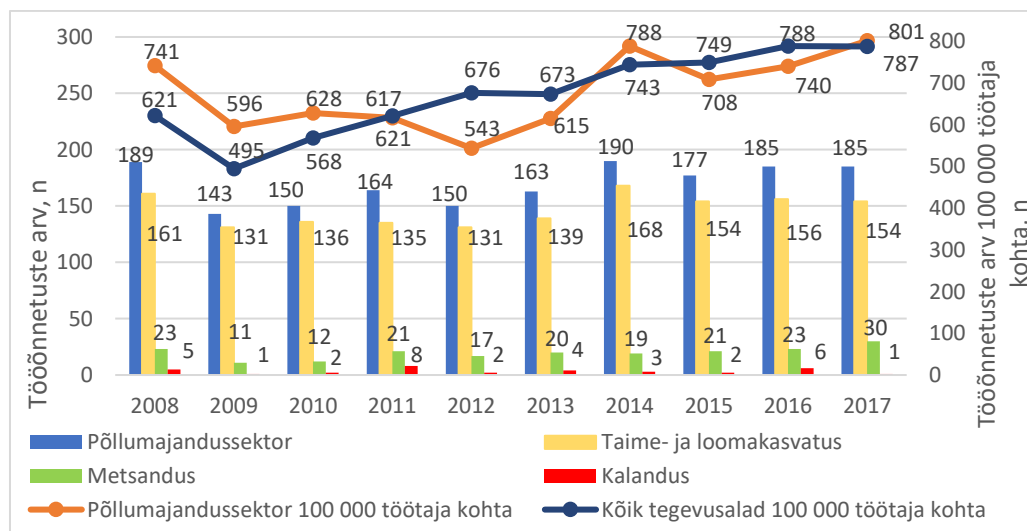
Uurimuse autor sai 2017. a põllumajandussektori tööõnnetuste andmed Tööinspeksioonist elektroonselt vastava avalduse alusel. Saadud andmebaas sisaldas 1696 tööõnnetuse kirjet ja 42 tunnust. Käesolevas artiklis antakse ülevaade kuue tunnuse kohta – tööõnnetuste arv, raskusaste, sugu, vigastuse liik, vigastatud kehaosa ja toimumiskoht (maakond).

TULEMUSED JA ARUTELU

Viimasel kümnel aastal on registreeritud tööõnnetuste arv Eesti põllumajandussektoris vähehaaval kuid stabiilselt tõusnud. Võrreldes tööõnnetuste üldarvuga ehk kõikide majandussektoritega on kasv tagasihoidlikum. Kui tööõnnetuste üldarv 2009. aastal oli saja tuhande töötaja kohta 495 (s.o. viimase kümne aasta madalaim) siis 2016. aastaks kasvas see 788-ni (s.o. kümnendi kõrgeim), vt. Joonis 1. Põllumajandussektori madalaim oli 2012. aastal 543 ja kõrgeim 2017. aastal 801 tööõnnetust saja tuhande töötaja kohta. Keskmiselt oli põllumajandussektoris aastatel 2008-2017 678 tööõnnetust saja tuhande töötaja kohta, mis on vaid veidi rohkem kui kõikides tegevusalades kokku ($n = 673$).

Tööinspeksiooni tööõnnetuste andmebaasist selgub, et aastatel 2008-2017 toimus Eesti põllumajandussektoris 1696 tööõnnetust. Põllumajandussektor jaguneb omakorda kolmeks alavaldkonnaks: taime- ja loomakasvatus, mis hõlmab endas ka jahindust ja neid teenindavaid tegevusalasid, metsamajandus, mis hõlmab ka metsavarumist ja kalapüük, mis hõlmab ka vesiviljelust.

Suurim osa tööõnnetustest toimusid taime- ja loomakasvatuse alavaldkonnas, kus sai vigastada 1465 töötajat, s.o. 86,4% kõikidest selles sektoris toimunudest. Metsanduses sai vigastada 197 töötajat (11,6%) ning kalanduses 34 töötajat (2,0%). Registreeritud tööõnnetuste arv kasvab nii taime- ja loomakasvatuses kui metsanduses, kalanduse valdkonnas on olukord stabiilsem.



Joonis 1. Tööõnnetuste dünaamika Eesti põllumajanduses aastatel 2008-2017 (tööõnnetuste absoluutarv, n - vasakul; tööõnnetuste esinemissagedus 100 000 töötaja kohta, n - paremal).

Figure 1. Dynamics of accidents at work in Estonian agriculture from 2008 to 2017 (absolute number, n – on the left, incidence rate for 100 000 workers, n – on right).

Joonisel 1 on näha tööõnnetuste dünaamika vaadeldava kümne aasta jooksul nii põllumajandussektoris üldiselt kui ka igas alavaldkonnas. Samuti on välja toodud tööõnnetuste esinemissagedus saja tuhande töötaja kohta põllumajandussektoris võrlduses kõikide majandussektoritega. Tööõnnetuste esinemissagedus põllumajanduses on vahel suurem ja vahel

väiksem kui kõikides majandussektorites kokku, kuid selgelt on näha, et õnnetuste esinemissagedus põllumajanduses on tõusva tendentsiga.

Kuigi taime- ja loomakasvatuse alavaldkonnas on juhtunud kõige rohkem tööõnnetusi ja ka töötajate hulk, kes selles valdkonnas töötavad on kõige suurem on tööga hõivatute arv jagunenud nende kolme valdkonna vahel järgmiselt: taime- ja loomakasvatuses 70%, metsanduses 25,8% ja kalanduses 4,5% tööga hõivatuid. Seega teevad 70% taime- ja loomakasvatuses töötavatest inimestest ligi 87% tööõnnetustest. Metsanduses ja kalanduses on asi vastupidine – suurema osaga töötajatest juhtub väiksem osa tööõnnetustest, metsanduses – 25,8% töötajatest teeb 11,1% õnnetusi ja kalanduses 4,5% töötajaid 2,2% õnnetusi.

Põllumajandussektoris tööõnnetusse sattunud meeste ja naiste osakaal jaguneb järgmiselt – 51,8% mehed ja 48,2% naised. Naiste osakaalu suurendab taime- ja loomakasvatuse alavaldkonnas piimakarjakasvatus, kus juhtub palju õnnetusi lüpsjatega. Taime- ja loomakasvatuse alavaldkonnas juhtus 54,2% tööõnnetustest just naistega. Võrdluseks võib tuua metsanduse, kus naistega juhtus 21% tööõnnetustest ja kalanduses – vaid 2%.

Tabel 1. Tööõnnetuste sooline jaotuvus põllumajandussektoris ja selle valdkondades aastatel 2008-2017

Table 1. Gender distribution of accidents at work from 2008 to 2017

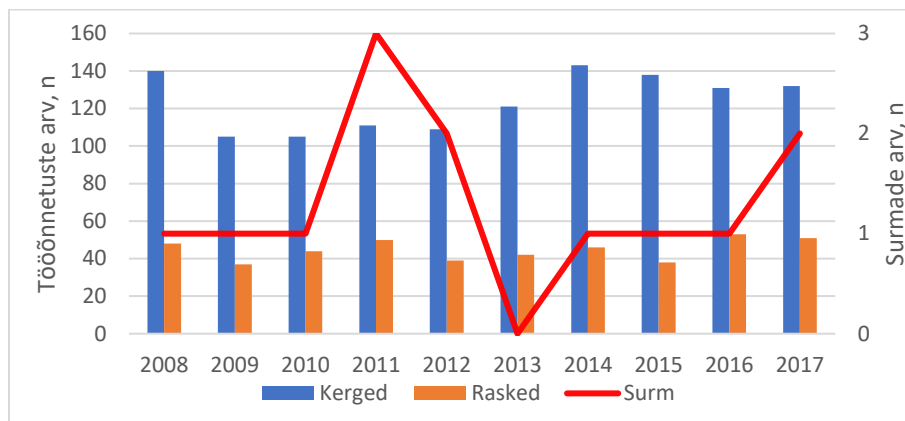
Aasta	Põllumajandus			Metsandus			Kalandus			Kogu põllumajandussektor		
	N	M	Kokku	N	M	Kokku	N	M	Kokku	N	M	Kokku
2008	79	82	161	3	20	23	0	5	5	82	107	189
2009	73	58	131	1	10	11	1	0	1	75	68	143
2010	72	64	136	0	12	12	0	2	2	72	78	150
2011	70	65	135	2	19	21	1	7	8	73	91	164
2012	75	56	131	2	15	17	0	2	2	77	73	150
2013	81	58	139	2	18	20	0	4	4	83	80	163
2014	79	89	168	2	17	19	0	3	3	81	109	190
2015	80	74	154	2	19	21	0	2	2	82	95	177
2016	95	61	156	4	19	23	0	6	6	99	86	185
2017	90	64	154	3	27	30	0	1	1	93	92	185
Kokku	794	671	1465	21	176	197	2	32	34	817	879	1696

Tabelis 1 on näha kuidas jagunevad aastatel 2008-2017 toimunud tööõnnetuste arvud meeste ja naiste vahel, seda nii taime- ja loomakasvatuses, metsanduses, kalanduses ja ka kogu põllumajandussektoris kokku.

Raskusastme poolest juhtub kõige rohkem kergeid tööõnnetusi (vt. Joonis 2), uuritud kümne aasta jooksul toimus põllumajandussektoris 1235 kerget (72,8%), 448 rasket (26,5%) ja 13 surmaga lõppenud tööõnnetust (0,8%). Tööõnnetuste arvud on kõigi kolme raskusastme osas tõusvas trendis.

Surmaga lõppenud tööõnnetused jagunesid taime- ja loomakasvatuse ($n = 9$) ja metsanduse vahel ($n = 4$). Kalanduses surmaga lõppenud tööõnnetusi ei esinenud.

Jooniselt 2 võib näha, et sekundaarteljel näidatud surmade arv oli väiksem 2013. aastal, kui ei esinenud ainsatki surmaga lõppenud tööõnnetust ja suurim 2011. aastal kui põllumajandussektoris toimus kolm surmaga lõppenud tööõnnetust (kõik kolm toimusid taime- ja loomakasvatuse valdkonnas).



Joonis 2. Kerged, rasked (n – vasakul) ja surmaga (n – paremal) lõppenud tööõnnetused kogu põllumajandussektoris aastatel 2008-2017.

Figure 2. Light, serious (n – on the left) and fatal (n – on the right) accidents at work from 2008 to 2017.

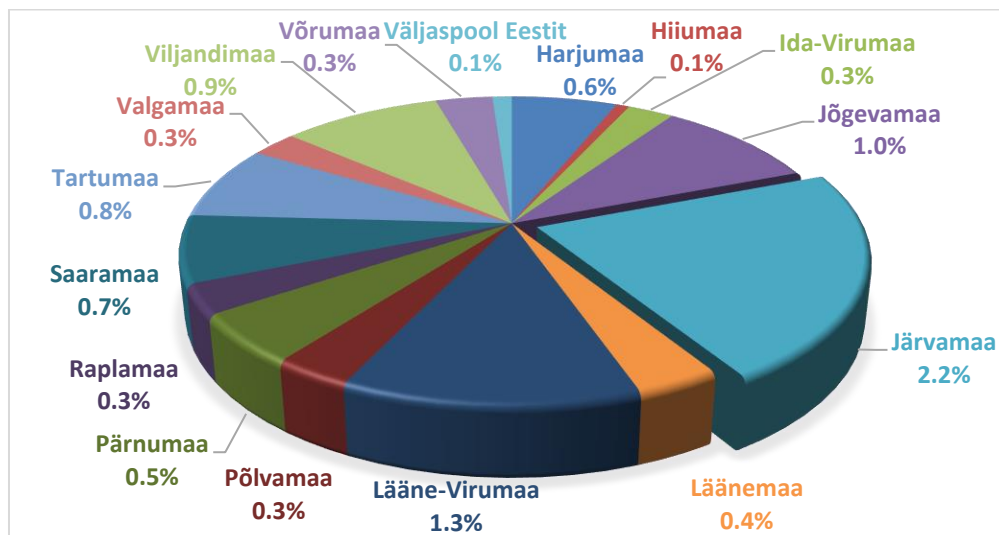
Tabelist 2 on näha, et kõige suurem osa vigastusi olid kerget laadi – haavad ja pindmised vigastused - 40,4%, järgnesid aga juba tõsisemad – kinnised ja lahtised luumurrud - 25,6%, seejärel põrutused ja sisemised vigastused - 16,2%. Kõige sagedamini vigastati üla- või alajäset (35,7% ja 33%).

Tabel 2. Tööõnnetusse sattunud töötajate enim esinenud vigastuste liigid ja vigastatud kehaosad, aastate 2008-2017 lõikes

Table 2. Most common injuries and injured body parts, from 2008 to 2017

Vigastuse liik	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Kokku	%
Haavad ja pindmised vigastused	70	77	70	46	47	50	61	102	93	70	686	40,4
Kinnised ja lahtised luumurrud	54	39	45	48	32	47	42	29	58	41	435	25,6
Põrutused ja sisemised vigastused	24	12	20	46	45	52	53	10	2	11	275	16,2
Vigastatud kehapiirkond	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Kokku	%
Ülajäse	69	54	55	59	54	50	64	71	78	52	606	35,7
Alajäse	74	50	49	59	51	60	73	52	53	49	570	33,6

Tööõnnetusi on toimunud aastatel 2008-2017 kõikides Eesti maakondades kuid kõige rohkem Järvemaal ($n = 372$), järgnevad Lääne-Virumaa ($n = 212$), Jõgevamaa ($n = 163$) ja Viljandimaa ($n = 157$). Kui vaadelda aga esinemissagedust saja tuhande töötaja kohta, toimub esinelikus muutus – Järvemaal 2260, Saaremaal 931, Jõgevamaal 908 ja Lääne-Virumaal 895 tööõnnetust saja tuhande töötaja kohta. Ülejäänud üheteistkümnes maakonnas oli tööõnnetuste esinemissagedus väiksem kui keskmiselt põllumajandussektoris – 678.



Joonis 3. Tööõnnetuste jagunemine maakonniti kogu põllumajandussektoris aastatel 2008-2017.

Figure 3. Distribution of accidents at work in Estonian counties, from 2008 to 2017.

Joonisel 3 on näidatud protsentuaalselt tööõnnetuste arvu jagunemine Eesti maakondades ja väljaspool Eestit.

Uuringu tulemustest selgub, et Eesti põllumajandussektori kõige tööõnnetuste rohkem valdkond on taime- ja loomakasvatus, seal toimub suurem osa tööõnnetustest. Enamik tööõnnetustest on kerged kuid ka raskeid ja surmaga lõppenud tööõnnetusi on liiga palju – kõiki neid saaks ära hoida. Tööõnnetuste arvud on kõigi kolme raskusastme osas tõusvas trendis. Sektoris üldiselt töötab veidi rohkem mehi kui taime- ja loomakasvatustes rohkem naisi. Vigastuse liikidest esineb kõige rohkem haavasid ja pindmisi vigastusi, kehapiirkondadest vigastatakse kõige sagedamini üla- ja alajäsemeid. Kõige rohkem tööõnnetusi, arvestades töötajate arvu, esineb Järvamaal.

JÄRELDUSED

Lähtuvalt uurimustulemustest ja kirjanduse analüüsist võib öelda, et põllumajandussektor on üsna ohtude ja tööõnnetuste rohke ala ja seda ka Eestis. Suur osa tööõnnetustest on kerget laadi kuid kuna on selgelt näha, et tööõnnetuste arv liigub tõusvas joones, siis tuleks suuremat tähelepanu pöörata nende ennetamisele. Erilist tähelepanu nõuavad maakonnad, kus tööõnnetuste esinemissagedus on suurem kui keskmine.

Töötervishoid ja tööohutus mängivad suurt rolli nii sotsiaalses kui majanduslikus heaolus. On oluline, et oleks võtta usaldusväärne, võrreldav ja ajakohane statistiline teave, et seada eesmärgid ja kasutusele võtta vajalikud meetmed ja ennetavad tegevused.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] F. A. Gasperini, "Agricultural Leaders' Influence on the Safety Culture of Workers." *Journal of Agromedicine*. Vol. 22, NO. 4, 309–311. 2017, Accessed on: Mar. 25, 2018, [online]. Available: <https://doi.org/10.1080/1059924X.2017.1357514>
- [2] Agriculture: a hazardous work. Accessed on: Mar. 20, 2018 [online]. Available: http://www.ilo.org/safework/areasofwork/hazardous-work/WCMS_110188/lang-en/index.htm
- [3] M. C. Alvanaja, D. P. Sandler, S. B. McMaster, S. H. Zahm, C. J. McDonnell and C. F. Lynch, „The agricultural health study“. *Environ. Health Perspect.* 104(4):362–69. 1996, Accessed on: Mar. 26, 2018, [online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1469343/>
- [4] M. Lauri, "Põllumajandus ja metsandus." *Estonica – Entsüklopeedia Eestist*. 2005, Accessed on: Mar. 24, 2018, [online]. Available:

- http://www.estonica.org/et/Majandus/Eesti_majandusest_%C3%BCIdiselt/P%C3%B5llumajandus_ja_metsandus/
- [5] Ants Laansalu, Loodud: 03.09.2002, Kriis põllumajanduses 90. aastatel, Accessed on: Mar. 26, 2018, [online]. Available: http://www.estonica.org/et/Maamajandusest_2001_aastani/Kriis_p%C3%B5llu_majanduses_90_aastatel/
- [6] Accidents at work statistics, Eurostat – statistics explained. Accessed on: Mar. 20, 2018, [online]. Available: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Accidents_at_work_statistics#Further_Eurostat_information
- [7] Euroopa Tööõnnetusala Statistika (ESAW). Metodoloogia – 2011.a. väljaanne, Accessed on: Mar. 27, 2018, [online]. Available: <http://osh.sm.ee/publications/esaw.pdf>
- [8] R. Kogler, E. Quendler, and J. Boxberger, „Accident at work with fertilizer distributors in Austrian agriculture.“ *Agric Eng Int: CIGR Journal*, 16(3): 157 – 165. 2014, Accessed on: Mar. 29, 2018 [online]. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.663.3206&rep=rep1&type=pdf>
- [9] C. Moreschi, U. Da Broi, A. Fanzutto, S. Cividino, R. Gubiani, and G. Pergher, „Medicolegal Investigations into Deaths Due to Crush Asphyxia after Tractor Side Rollovers.“ *Am. J. Forensic Med. Pathol.* 2017, 38, 312–317, Accessed on: Mar. 27, 2018, [online]. Available <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28767539>
- [10] S. R. S. Cividino, G. Pergher, N. Zucchiatti, R. Gubiani, „Agricultural Health and Safety Survey in Friuli Venezia Giulia.“ *Agriculture* 2018, 8, 9, Accessed on: Mar. 29, 2018 [online]. Available: www.mdpi.com/2077-0472/8/1/9/pdf
- [11] S. G. Gerberich, R. W. Gibson, L. R. French, C. M. Renier, Lee T. Y., et al, „Injuries among children and youth in farm households: Regional Rural Injury Study I.“ *Inj. Prev.* 7(2):117–22. 2001, Accessed on: Mar. 29, 2018 [online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1730710/>
- [12] K. J. Hendricks, N. Adekoya, „Nonfatal animal-related injuries to youth occurring on farms in the United States, 1998.“ *Inj. Prev.* 7(4):307–11. 2001, Accessed on: Mar. 29, 2018, [online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1730772/>
- [13] S. A. McCurdy, D. J. Carroll, „Agricultural injury.“ *Am. J. Ind. Med.* 38(4):463– 80. 2000, Accessed on: Mar. 30, 2018 [online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10982988>
- [14] D. T. Stueland, B. C. Lee, D. L. Nordstrom, P. M. Layde, L. M. Wittman, et al, „Case-control study of agricultural injuries to women in central Wisconsin.“ *Women Health* 25(4):91–103. 1997, Accessed on: Mar. 29, 2018 [online]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9302731>

Energiasääst tootmises äratõmbe- ja filterseadmete kasutamisel

Andrei Jevtuševski

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

Abstract. Ventilation is an air exchanging in the room, which is designed to provide people with a favorable microclimate and with according of requirements of the technological processes. The filter units, due to their ability to clean and recycle contaminated air, can save money on heating of the ventilation air. From the calculation we received the amount of annual thermal energy necessary for this purpose and its price. As a result, we found how quickly the extraction and filter units pays off at a different airflow. The ACON (FLÄKTWOODS) program has been used to calculate the energy needs for heating of air of ventilation in this work. Calculations show that the use of filter units is worth it. It is also more ecological than using a conventional local exhaust ventilation system.

Keywords: ventilation, welding, filter unit, energy saving.

SISSEJUHATUS

Ventilatsiooniks nimetatakse õhuvahetust siseruumides, mille ülesandeks on tagada inimestele soodne ning seadmete ja/ või tehnoloogiliste protsesside nõuetele vastav mikrokliima. Kui tegemist on mehaanilise ventilatsiooniga, siis seda saavutatakse (ventilatsiooniseadmetes asuvate) ventilaatorite abil. Ventilatsiooni ja/ või õhupuhastusseadmed hoiavad ruumi õhu puhtana ning värskena, viivad saasteainete kontsentratsiooni tervisele ohutule tasemele ning reguleerivad samas ka õhuhulga kogust. Kuna inimene veedab suurema osa oma päevast siseruumides on selle kvaliteet isegi olulisem kui väliskliima, kuna selle puudumisel kaasnevad tervisehäired ning tagajärjeks ka tööviljakuse langus. Seega, mida efektiivsemad on õhupuhastusseadmed, seda parem on ruumi sisekliima, mis omakorda mõjutab mitte ainult töötajate tervist ning heaolu vaid ka tootmisprotsessis toodangu kvaliteeti.

Tootmises kasutatakse kolme üldlevinumat ventilatsioonistrateegiat: loomuliku ventilatsiooni (kõige madalam efektiivsus); mehaanilist üldventilatsiooni ning kohaliku väljatõmbeventilatsiooni (kõige efektiivsem).

Loomulik ventilatsioon on ruumide õhutamisviis, mille korral ei kasutata mehaanilisi süsteeme, vaid kogu õhuvahetus on tingitud välis- ja siserõhkude ning temperatuuride erinevusest ilma õhu mehaaniliste sundliikumise komponentideta, ehk siis läbi avatud akende, uste ning piilude kaudu [1, 2]. Efektiivsus on madal kuna on raskelt juhitav ja sõltub ilmastikuoludest.

Mehaaniline üldventilatsioon vähendab õhu saasteainete kontsentratsiooni, reguleerib soojust kogust, mis akumulereub kuumas tööstuslikus keskkonnas, segades (lahjendades) saastunud õhu värsket, puhta ning saastamata õhuga. Saasteainete eemaldamiseks selle süsteemiga on vajalik aga liiga suur õhukogus, ning töötajate terviseriskid saastatud keskkonnas on raskesti hinnatavad; seda süsteemi ei saa kasutada väga toksiliste kemikaalide puhul; ei ole tõhus tolmu või metalli aurude või suures koguses gaaside ja aurude eraldumisel [3].

Sellistel protsessidel nagu keevitamine, kõvajoodisega jootmine ja põleti lõikamine (gaas-, plasma- ja laserlõikamine) on ventilatsiooni peamine eesmärk eemaldada töötaja hingamistsoonist õhu saasteained, ning seega on siin kõige efektiivsem viis – kohalik väljatõmbeventilatsioon [4]. Viimane jaguneb kaheks: ventilaatoriga varustatud kohtväljatõmbe süsteemiks, mis utiliseerib saastunud õhku otse atmosfääri ja filtritega varustatud äratõmbesüsteemiks – filterseadmeks, mis laseb õhu filtritest läbi, puhastab ära ja tagastab ruumi. Filtritega varustatud äratõmbesüsteemid ehk filterseadmed saavad olla mobiilsete- või statsionaarsete seadmete baasil.

Mittenõuetekohane ventilatsioon võib tugevasti mõjutada tervist, tekitades kopsuvähki (keevitusaurud), kroonlist bronhiiti, metallipalavikku, ärritustunnet ninas/kurgus/bronhides, allergiat ning palju teisi hingamisteede vaevusi. Keevitusprotsessides tekkivad keevitusaurud on segud metallioksiididest, silikaatidest ning fluoriididest [5]. Aurud tekkivad siis kui metall on kuumutatud üle keemistemperatuuri ning selle aurud kondenseeruvad väga peente osakestena (tahkete osakestena). Seega sisaldavad keevitusaurud tavaliselt nii elektroodi kui ka keevitatud põhimaterjali osakesi. Samuti tekkivad ka keevitamisel keevitusgaasid. Viimaseid kasutatakse või toodetakse keevitus- ja

lõikamisprotsesside käigus, nagu näiteks kaitsegaasid või gaasid, mis tekivad räbu lagunemise või ultraviolettkiirguse või kõrgtemperatuuride vastasmõjul gaasidega või aurudega mis on õhus. Keevitus- ja lõikeprotsessides kasutatavad gaasid: kaitsegaasid nagu süsinikdioksiid või selle segu, argoon, heelium jne; küttegaasid nagu atsetüleen, propaan, butaan jne; hapnik, mida kasutatakse koos küttegaasidega. Keevitus- ja lõikeprotsessidest toodetud gaasid hõlmavad järgmist: süsinikdioksiid mis tekitab räbu lagunemisest, kaarkeevitusel tekkiv süsinikmonooksiid (süsinikdioksiidi kaitsegaasi lagunemisel), elektrikaare ning atmosfääri hapniku tekitatud osoon, lämmastikosksiid atmosfääri hapniku ning lämmastiku kuumutades, vesinikkloriid ja fosgeen, mis saadakse ultravioletvalguse ning klooritud süsivesinikku rasvaemaldavate lahustite aurude vahel (nt trikloroetüleen). Ohtlikud gaasid tekkivad ka katete termilisest lagunemisest. Kohalik väljatõmbeventilatsioon ei lase aga saasteainetel levida kogu töökohal püüdes neid aineid kinni saasteallika läheduses. Samuti peab see olema ainuke valik kui tegemist on väga mürgiste õhus olevate kemikaalidega, tolmu või metalli aurudega.

Kuna mobiilsete ja statsionaarsete äratõmbe- ja filterseadmete kasutamine ei vaja asendusõhku, sest kogu sissetulev õhk filtreeritakse/puhastatakse ning puhutakse ruumi tagasi, toimub energiasääst. Selle säästu arvutuse püüangi läbi viia allpoololevas uurimistöös. Seoses sellega, et filterseadmete hind on kõrgem kui tavalise väljatõmbeventilatsiooni süsteemi hind, teen ka tasuvuskalkulatsiooni, mis aitab mõista kas ja kui ruttu nende filterseadmete kasutamine tasub ennast ära.

MATERIAL JA METOODIKA

Ventilatsiooni energiaarvutuse läbiviimiseks on kasutatud programmi ACON. Programmi ACON puhul on tegemist ventilatsiooniseadmete tootjafirma FläktGroup vahendiga ventilatsiooniseadmete valikuks ning energiatarbe leidmiseks, ning see võimaldab väga edukalt saada andmed ventilatsiooni energiatarbe kohta. Antud programmil on veebipõhine keskkond. Andmete analüüsimiseks, ning tabelite ja graafikute koostamiseks on kasutatud MS Office Excel programmi.

Töös on kasutatud Tartu linna kaugkütte soojusenergia hinda. Kuna kaugkütte soojusenergia hind muutub üle Eesti, siis mingil määral muutuvad ka andmete tulemused.

Tööruumi peab ventileerima üldventilatsiooni süsteem, mis on teostatud tavaliselt ventilatsiooniagregaadi baasil. Selle süsteemi andmed ei ole antud artiklis vaadeldud. On võrreldud ainult soojusvajadust eri tüüpi kohtäratõmbelahendustel üldventilatsiooni vaatemata. Samuti arvesse ei ole võetud ventilaatorite elektrikulu, kuna see on kahel süsteemil küllaltki võrdne.

Antud uurimistöös on läbiviidud kahe süsteemi võrdlev uuring:

- Esimeses uuringus on statsionaarse keevituskoha väljatõmbesüsteemi energiaarvutus ning filterseadmetega äratõmbesüsteemi tasuvusarvutus;
- Teises uuringus on keevitusroboti väljatõmbesüsteemi energiaarvutus ning filterseadmetega äratõmbesüsteemi tasuvusarvutus.

Programmi arvutuste tulemuste alusel on koostatud tabelid ja graafikud. Antud arvutused aitavad välja selgitada kui suurt energiasäästu annab filterseadmete kasutamine võrdluses tavalise väljatõmbesüsteemiga.

Arvutustes on simuleeritud sissepuhkeõhu soojendamine vajaliku temperatuurini ja tulemuseks on saadud selleks vajaliku soojusenergia hulk.

Mõlema süsteemi arvutuses me soojendame õhku, mis asendab saastunud õhu erineva temperatuurini. Arvutusest saame selleks vajalikku soojusenergia koguse ja arvutame ümber rahalisteks ühikuteks, seejärel leiame kui kiiresti äratõmbe- ja filterseade tasub ennast ära.

Uuring 1: Statsionaarse keevituskoha ventilatsiooni (MIG/MAG ja TIG keevitus) soojusenergiaarvutus ja filterseadme tasuvusarvutus.

Statsionaarse keevituskoha kohtväljatõmbe süsteem koosneb ventilatsiooni torustikust ja väljatõmbeventilaatorist. Efektive süsteemi väljatõmmatava õhuhulk on vahemikus 900-1400 m³/h [7].

Lähteandmed:

- Õhuhulk: $V = 1100 \text{ m}^3/\text{h}$
- Töötundide arv päevas 8 tundi;
- Sissepuhkeõhu temperatuur: $t = +18, +19, +20, +21 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Tartu linna aasta keskmise õhutemperatuuri andmed.

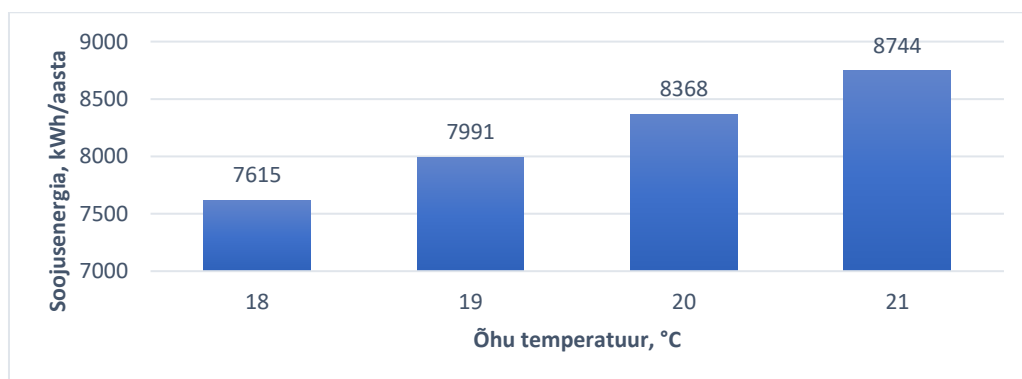
Kasutades lähteandmeid on ACON programmi abil saadud soojusenergia aastane hulk, mis on vajalik sissepuhkeõhu soojendamiseks nõutud temperatuurini (vt tabel 1).

Tabel 1. Aastane energiatarve 1100 m³/h õhu soojendamisele sõltuvalt sissepuhkeõhu temperatuurist.

Table 1. Annual energy consumption for heating of 1100 m³/h air, depending on the temperature of the supply air.

Õhu temperatuur, °C	Aastane soojusenergia, kWh
+18	7615
+19	7991
+20	8368
+21	8744

Tabeli 1 andmete põhjal on koostatud graafik joonisel 1. Graafikult on näha, et temperatuuri kasvuga kasvab lineaarselt ka energiatarve.



Joonis 1. Aastane energiatarve õhu soojendamisele sõltuvalt sissepuhkeõhu temperatuurist.

Figure 1. Annual energy consumption for air heating depending on the temperature of the supply air.

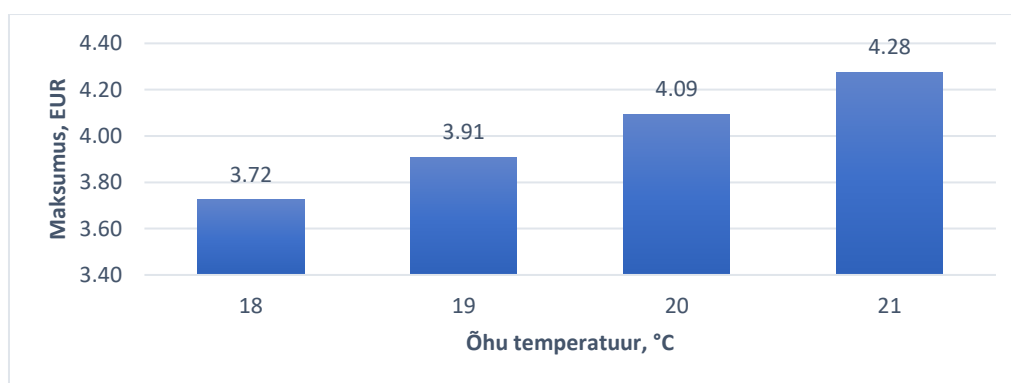
Aastane energiamaksumus õhu soojendamisele sõltuvalt sissepuhkeõhu temperatuurist on esitatud tabelis 2.

Arvutustes on kasutatud Tartu linna kaugkütte hind 48,9 EUR/MWh + km [6].

Tabel 2. Aastase soojusenergia maksumus 1100 m³/h õhu soojendamisele.Table 2. Annual heat energy cost for heating of 1100 m³/h air.

Õhu temperatuur, °C	Soojusenergia maksumus, EUR	Aastane soojusenergia, kWh
18	372,37	7615
19	390,76	7991
20	409,20	8368
21	427,58	8744

Joonisel 2 on graafiliselt näidatud aastase soojusenergia maksumus 1100 m³/h õhu soojendamisele sõltuvalt soojendava õhu temperatuurist.

Joonis 2. Aastase soojusenergia maksumus 1100 m³/h õhu soojendamisele.Figure 2. Annual heat energy cost for heating of 1100 m³/h air.

Tabelis 3 on näidatud parameetrite järgi sobivate filterseadmete hinnad madalamast kõrgemani, ning nende tasuvusaeg üleval saadud andmete põhjal.

Minimaalne tasuvusaeg on saadud arvestades, et aastane kokkuhoid on 427,58 EUR, maksimaalne on arvestatud aastase kokkuhoiuga 372,37 EUR.

Tabel 3. Filterseadme tasuvusaeg.

Table 3. Payback time of filter unit.

Nr.	Filterseadme hind, EUR	Min. tasuvusaeg, aastat	Max. tasuvusaeg, aastat
1	2000	4,7	5,4
2	3000	7,0	8,1

Tabelis 4 on esitatud analoogse arvutuse tulemus aga võrdluses ventilaatoriga varustatud väljatõmbesüsteemiga. Keskmises hinnaklassis ning sobiva vooluhulgaga ja rõhuga keevitussuitsu väljatõmbeventilaatori hind on 800 EUR [8, 9].

Tabel 4. Filterseadme tasuvusaeg võrdluses ventilaatoriga varustatud väljatõmbesüsteemiga.

Table 4. Payback time of the filter unit compared to the exhaust system equipped with the fan.

Nr.	Filterseadme hind, EUR	Väljatõmbesüsteemi hind, EUR	Vahe, EUR	Min. tasuvusaeg, aastat	Max. tasuvusaeg, aastat
1	2000	800	1200	2,8	3,2
2	3000	800	2200	5,1	5,9

Uuring 2: Keevitusroboti ventilatsiooni (MIG/MAG keevitus) soojusenergiaarvutus ja filterseadme tasuvusarvutus.

Keevitusroboti kohtväljatõmbe süsteem koosneb torustikust, väljatõmbekubust ja ventilaatorist. Kubuga varustatud süsteemi väljatõmmatava õhu hulk sõltuvalt kuhu mõõtmetest on 2000-4000 m³/h [7]. Kuhu suurusega 1250x2500 mm väljatõmmatava õhu hulk on 2016 m³/h.

Lähteandmed:

- Õhuhulk: $V = 2016 \text{ m}^3/\text{h}$;
- Töötundide arv päevas 8 tundi;
- Sissepuhkeõhu temperatuur: $t = +18, +19, +20, +21 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Tartu linna aasta keskmise õhutemperatuuri andmed.

Kasutades lähteandmeid on ACON programmi abil saadud soojusenergia aastane hulk, mis on vajalik sissepuhkeõhu soojendamiseks nõutud temperatuurini (vt tabel 5).

Tabel 5. Aastane energiatarve 2016 m³/h õhu soojendamisele sõltuvalt sissepuhkeõhu temperatuurist.Table 5. Annual energy consumption for heating of 2016 m³/h air, depending on the temperature of the supply air.

Õhu temperatuur, °C	Aastane soojusenergia, kWh
18	13684
19	14379
20	15075
21	15763

Tabeli 5 andmete põhjal on koostatud graafik joonisel 3. Graafikult on näha, et temperatuuri kasvuga kasvab lineaarselt ka energiatarve.

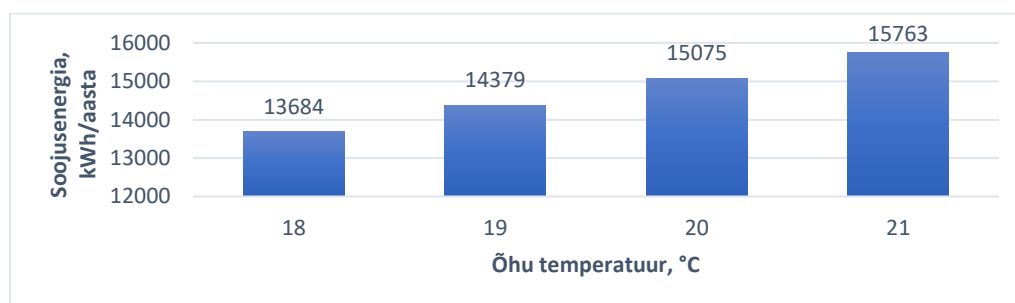
Joonis 3. Aastane energiatarve 2016 m³/h õhu soojendamisele sõltuvalt sissepuhkeõhu temperatuurist.

Figure 3. Annual energy consumption for air heating depending on the temperature of the supply air.

Aastane energiamaksumus õhu soojendamisele sõltuvalt sissepuhkeõhu temperatuurist on esitatud tabelis 6 ja graafiliselt joonisel 4.

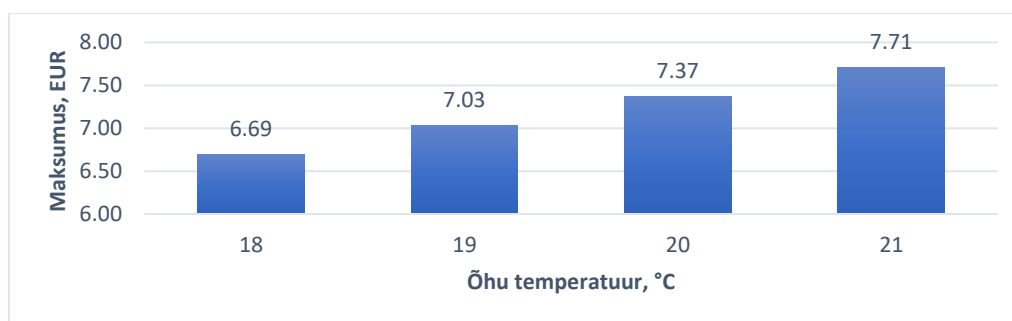
Arvutustes on kasutatud Tartu linna kaugkütte hind 48,9 EUR/MWh + km [6].

Tabel 6. Aastase soojusenergia maksumus 2016 m³/h õhu soojendamisele.

Table 6. Annual heat energy cost for heating of 2016 m³/h air.

Õhu temperatuur, °C	Soojusenergia maksumus, EUR	Aastane soojusenergia, kWh
18	669,15	13684
19	703,13	14379
20	737,17	15075
21	770,81	15763

Joonisel 4 on graafiliselt näidatud aastase soojusenergia maksumus 2016 m³/h õhu soojendamisele sõltuvalt soojendava õhu temperatuurist.



Joonis 4. Aastase soojusenergia maksumus 2016 m³/h õhu soojendamisele.

Figure 4. Annual heat energy cost for heating of 2016 m³/h air.

Tabelis 7 on näidatud parameetrite järgi sobivate filterseadmete hinnad madalamast kõrgemani, ning nende tasuvusaeg üleval saadud andmete põhjal.

Minimaalne tasuvusaeg on saadud arvestades, et aastane kokkuhoid on 770,81 EUR, maksimaalne on arvestatud aastase kokkuhoiuga 669,15 EUR.

Tabel 7. Keevitusroboti filterseadme tasuvusaeg.

Table 7. Payback time of filter unit of welding robot.

Nr.	Filterseadme hind, EUR	Min. tasuvusaeg, aastat	Max. tasuvusaeg, aastat
1	3000	3,9	4,5
2	4000	5,2	6,0

Tabelis 8 on esitatud analoogse arvutuse tulemus aga võrdluses ventilaatoriga varustatud väljatõmbesüsteemiga. Keskmises hinnaklassis ning sobiva vooluhulgaga ja rõhuga keevitussuitsu väljatõmbeventilaatori hind on 1000 EUR [8, 9].

Tabel 8. Keevitusroboti filterseadme tasuvusaeg võrdluses ventilaatoriga varustatud väljatõmbesüsteemiga.

Table 8. Payback time of the filter unit of welding robot compared to the exhaust system equipped with the fan.

Nr.	Filterseadme hind, EUR	Väljatõmbesüsteemi hind, EUR	Vahe, EUR	Min. tasuvusaeg, aastat	Max. tasuvusaeg, aastat
1	3000	1000	2000	2,6	3,0
2	4000	1000	3000	3,9	4,5

Siin ei ole arvestatud, et madalama hinnaga seadmete puhul lisanduvad filtrite vahetamisega seotud kulud. Kõrgema hinnaga seadmete puhul seda on vaja teha väga harva, kuna nendel on sisseehitatud filtripuhastussüsteemid ja puhastatavad filtrid.

Filtri valikul peab pöörama tähelepanu, et roostevaba terase keevitamise ajal tekkinud suitsu filtreerimiseks, filter peab vastama klassile W3 [10].

TULEMUSED JA ARUTELU

Kõige olulisemad tulemused on kirjeldatud allpool:

- Energia kokkuhoid süsteemiga, kus on vaja eemaldada/filtreerida 1100 m³/h õhku sissepuhkeõhu temperatuuril +18°C on 7615 kWh/aastas või 372,4 EUR/aastas;
- Energia kokkuhoid süsteemiga, kus on vaja eemaldada/filtreerida 1100 m³/h õhku sissepuhkeõhu temperatuuril +21°C on 8744 kWh/aastas või 427,6 EUR/aastas;
- Energia kokkuhoid süsteemiga, kus on vaja eemaldada/filtreerida 2016 m³/h õhku sissepuhkeõhu temperatuuril +18°C on 13684 kWh/aastas või 669,1 EUR/aastas;
- Energia kokkuhoid süsteemiga, kus on vaja eemaldada/filtreerida 2016 m³/h õhku sissepuhkeõhu temperatuuril +21°C on 15763 kWh/aastas või 770,8 EUR/aastas;
- Filterseadme parameetriga 1100 m³/h tasusuaeg on kuni 8 aastat;
- Filterseadme parameetriga 2016 m³/h tasusuaeg on kuni 6 aastat;
- Filterseadme parameetriga 1100 m³/h tasusuaeg võrdluses tavalise väljatõmbesüsteemiga on kuni 6 aastat;
- Filterseadme parameetriga 2016 m³/h tasusuaeg võrdluses tavalise väljatõmbesüsteemiga on kuni 4,5 aastat.

Antud tulemuste põhjal saab järeldada, et äratõmbe- ja filtreerimiseadmete kasutamine tasub ennast igal juhul ära. Nende kasutamine ei eelda lisaõhu soojendamist, seoses sellega et saastunud õhk läbib puhastamisprotsessi ja seejärel antakse tagasi ruumi. Nii saavutatakse energiasääst. See sääst on seda suurem, mida suurem on filtreerimiseks ettenähtud saastunud õhu kogus ja seadmete töötundide arv ööpäevas.

Mittemajanduslik aspekt äratõmbe- ja filterseadmete kasuks on see, et need seadmed lisaks energiasäästule (mis on tegelikkuses ka looduse sääst) säästavad ka loodust nii viisi, et saastunud õhk ei utiliseerita otse keskkonda, reostades seda, vaid puhastatakse ja taaskasutatakse.

JÄRELDUSED

Antud uurimistöö kokkuvõtteks saab öelda, et äratõmbe- ja filtreerimiseadmete kasutamine keevitusega seotud tootmises saastunud õhu filtreerimiseks, on majanduslikult efektiivne ning aitab säästa loodust.

Tahaks lisada, et väiksema filtreeritava õhuhulgaga või/jah kallima hinnaga seadmete puhul majanduslik efektiivsus ja nende seadmete tasuvus ei ole antud töös tõestatud. See vajab täiendavaid uurimisi ja arvutusi.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Andy Walker, „WBDG Whole Building Design Guide”, Volume 15, 2010/6.
- [2] Natural Ventilation in Buildings –architectural concepts, consequences and possibilities
Tommy Kleiven, SINTEF / Civil and Environmental Engineering Anne Grete Hestnes, NTNU / Faculty of
Architecture and Fine Art, 2003:13.
- [3] http://www.ucu.org.uk/media/1358/General-ventilation---guidance-for-employers-HSG202/pdf/HSG202_-_Ventilation.pdf.
- [4] Designing, Constructing and Installing a Local Exhaust Ventilation System to Minimize Welders' Exposure to Welding Fumes. **Sajad Zare et. al, 2017.**
- [5] <https://www.irsst.qc.ca/Portals/0/upload/misc/2017/forum-cancerogene/en/Welding-Fumes.pdf>.
- [6] <https://www.fortum.ee/kliendile/tooted-ja-teenused/kaugkyte>.
- [7] AWS F3.2M/F3:2:2001 Ventilation Guide for Weld Fume approved by American National Standards Institute June 15, 2001.
- [8] <https://www.kemper.eu/en>.
- [9] <http://en.teka.eu/products/mobile-suction-and-filtering-systems/>.
- [10] <https://safe-welding.com/differences-among-filters-and-how-to-determine-filter-class/>.

Elektriautode akude mahtuvuse vähenemine eluea jooksul

A. Petrov

Estonian University of Life Sciences, Institute of Technology

Abstract.

Popularity of electric vehicles is rising and more car manufacturers are developing new models at electric car industries. The biggest issue is the durability of electric vehicle battery. This paper research is focusing electric vehicle battery capacity degradation during the lifetime. The work has three main areas: introduction of Li-ion batteries, collecting data of electric car usages by car owners and analyze electric vehicle battery degradation of capacity.

Key words: electric vehicle, battery, capacity degradation, SOC, DoD, DoDCE, Nissan Leaf

SISSEJUHATUS

Elektriautode kasutamine on muutunud viimaste aastatega üha aktuaalsemaks ja valdkonnas nähakse suuremat potentsiaali. Erinevad autotööstused loovad uusi ja efektiivsemaid mudeleid valdkonna arendamiseks. Arendustöö tulemusena ei ole elektriauto enam tänavapildis võõras nähtus. Tänaval sõitvatest autodest võib kohata täielikult elektrijõul või kombineeritud energiaallikatega (hübriidautod) mudeleid. Elektriauto kõige tähtsamaks osaks võib nimetada energiasalvestit ehk akut. Antud valdkonna suurimaks probleemiks võib nimetada aku vastupidavust, mis on tugevas seoses kasutajate kasutusharjumustega.

Elektriautodes kasutatakse liitiumioon (*Li-ion*) akusid, mis on mõõtmetelt kompaktsed, vastupidavad ja kerge kaaluga, mis tõttu sobivad hästi elektriautode energiaallikaks.

Põhilisemad eelised Li-ion akudel on [1]:

- a) kolm korda kõrgem pingeline kui Ni-MH või Ni-Cd akudel, elemendi pingeline (3,6V);
- b) suure energiatihedusega, umbes 70-200 Wh/kg;
- c) väga suure võimsustihedusega, 200-400 W/kg või 2000-4000 W/kg;
- d) lai tühjenemisetsükkel, umbes 90-99%;
- e) madal aku isetühjenemine, umbes 5-10% kuus;
- f) kõrge eluiga, umbes 1000-10000 laadimistsükli, 5-15 aastat.

Põhilisemad puudused Li-ion akudel on [1]:

- a) tootmine on kulukam kui NiCd akudel;
- b) suur laadimisvool ja temperatuur vähendavad aku mahtuvust;
- c) mahtuvuse vähenemine aja jooksul;
- d) mittevastupidav kõrgetele laadimispingetele ja vooludele;
- e) täielikult tühjenenud aku laadimine võib muutuda ohtlikuks.

Elektriauto aku eluiga on keskmiselt 8...10 aastat ja loetakse lõppenuks kui aku mahtuvus on vähenenud 70...80%-ni esialgsest mahtuvusest [2]. Aku mahtuvust mõjutavad erinevad tegurid, eelkõige kasutamise eripäradest.

Aku vastupidavus sõltub laadimistsüklite arvust, mahtuvuse tasemest enne laadimist (*SOC – state of charge*), tühjaks laadimise sügavusest (*DoD – depth of discharge*), laadimisvoolu tugevusest ja elementide temperatuurist [2].

Aastatel 2009-2012 viidi läbi Inglismaal projekt „*Cabled*“, mille käigus testiti erinevate elektri- ja hübriidautode kasutusharjumusi ning koguti erinevaid andmeid.

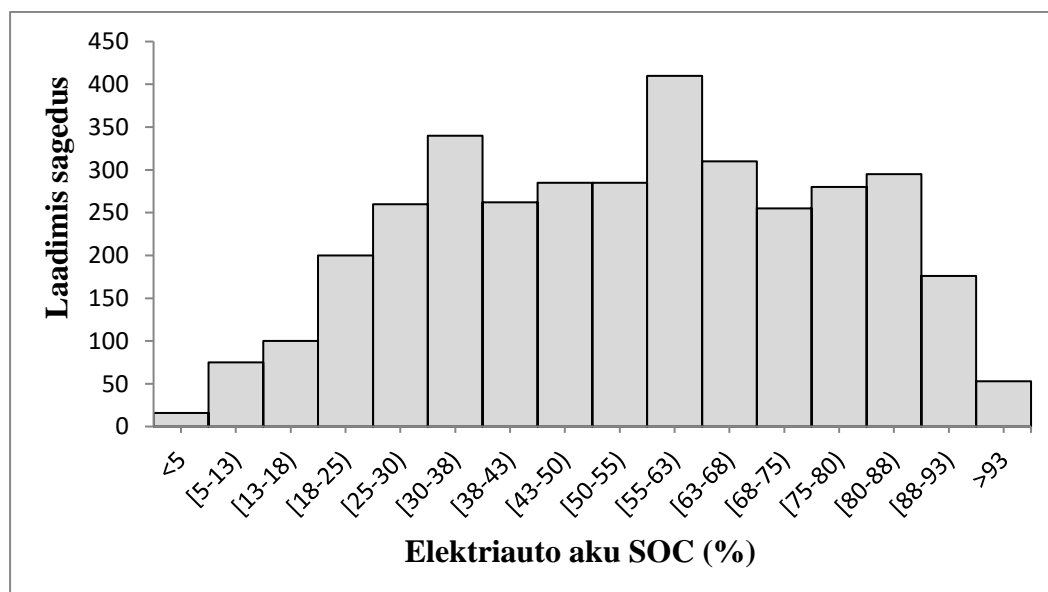
MATERIAL JA METOODIKA

Projekti „*Cabled*“ raames pandi põhirõhk täielikult elektrijõul sõitvatele autodele. Projektis osales üle 100 elektriauto, mida kasutasid erinevad avaliku sektori töötajad igapäevastel toimetustel. Autod olid varustatud GPS jälgimiseseadmega ja omasid info salvestus süsteeme.

Projekti käigus koguti järgnevaid andmeid [2]:

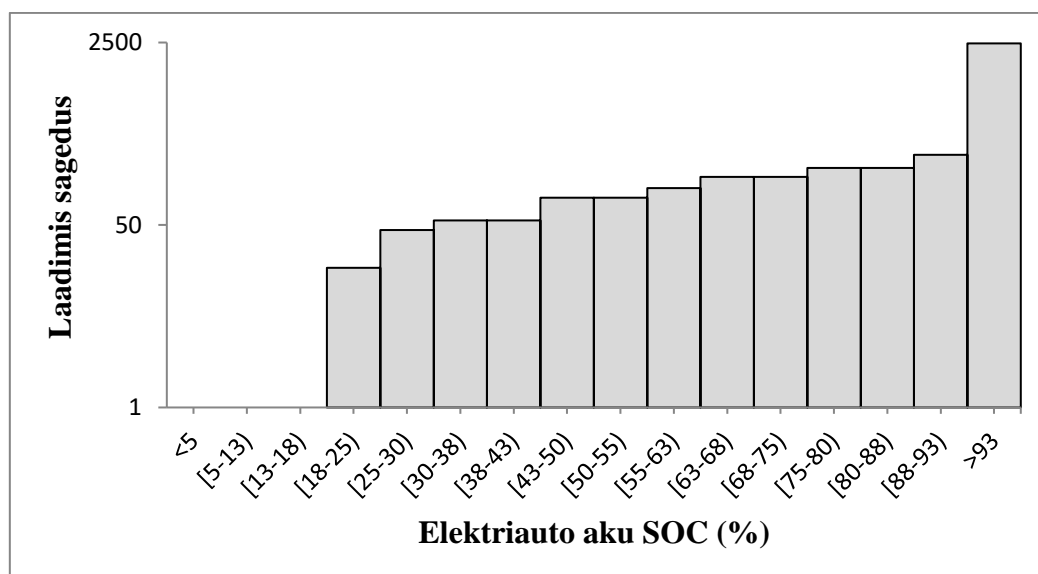
- 1) sõitude arv;
- 2) teekonna pikkus ja kestvus;
- 3) kuupäev ja aeg;
- 4) kulutatud energia sõidu jooksul;
- 5) laadimiste kestvus ja laadimisel kulunud energia;
- 6) välisõhu temperatuur;
- 5) laadimis koha asukoht, nt. kodus, tööl või avalikus laadimisjaamas;
- 6) keskmine kiirus teekonnal.

Projektis kasutati erinevaid elektriautosid, mille sõidu ulatus jäi vahemikku 105-175 km. Kogutud andmed on väljatoodud joonistel 1, 2, 3.



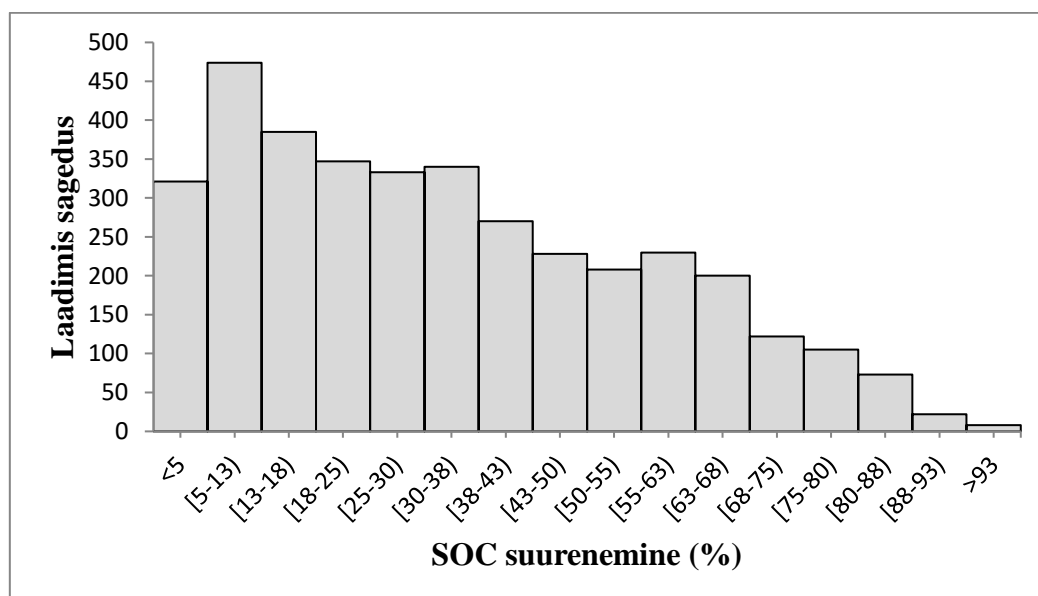
Joonis 1. Aku SOC enne laadimist. Battery SOC before recharging. Allikas: [2]

Kogutud andmetest selgus, elektriauto kasutamisel tühjenes aku peaaegu täiesti tühjaks 16 korral.



Joonis 2. Aku SOC pärast laadimist. Battery SOC after recharging. Allikas: [2]

Aku laeti enam kui 93% täis 2450 korral, 20 korral lõpetati laadimine taseme juures 18-25%.



Joonis 3. Aku SOC suurenemine pärast laadimist. Battery SOC increase after recharging. Allikas: [2]

Tabel 1. Projektis kogutud andmete keskmised. Allikas: [2]

Laadimis statistika keskmised	
SOC laadimise alguses (%)	55
SOC kasv laadimisel (%)	35
Laadimise kestvus	02:54:40

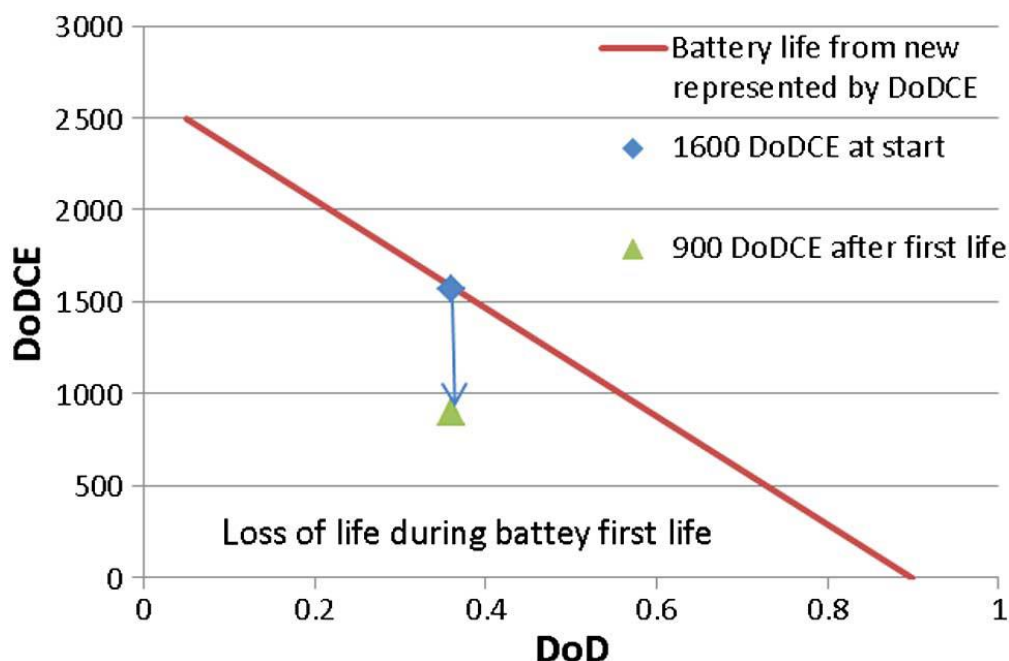
Projekti „Cabled“ raames leiti, et keskmiselt alustati laadimist 55% aku taseme juures ja SOC kasv jäi keskmiselt 35% juurde. Akut laeti keskmiselt 0,54 korda päevas, mis teeb aasta kohta umbes 200 päeval.

Arvestades, et DoD 35% juures on aku eeldatav eluiga 4500 kogu tsükli, mis taandatakse 100% DoD tsükli ekvivalendile (*DoDCE – depth of discharge cycle equivalent*) [2].

$$DoDCE = n_t \times DoD \quad (1)$$

kus DoDCE on 100% DoD tsükli ekvivalent;
 n_t – tsüklite arv;
 DoD – Tühjaks laadimise %.

Valemi 1 põhjal saadi tulemuseks ümardades 1600 DoDCE tsükli eeldavaks aku elueaks. Keskmiselt laeti akut 200 korda aastas, seega 10 aasta jooksul 2000 tsükli, mis teeb 700 DoDCE tsükli.

**Joonis 4.** Aku eluiga DoD 35% juures. Allikas: [2]

Teoreetiliselt on pärast 10 aastat aku kasutamist alles jäänud 900 DoDCE tsükli enne kui aku täielikult ammendub.

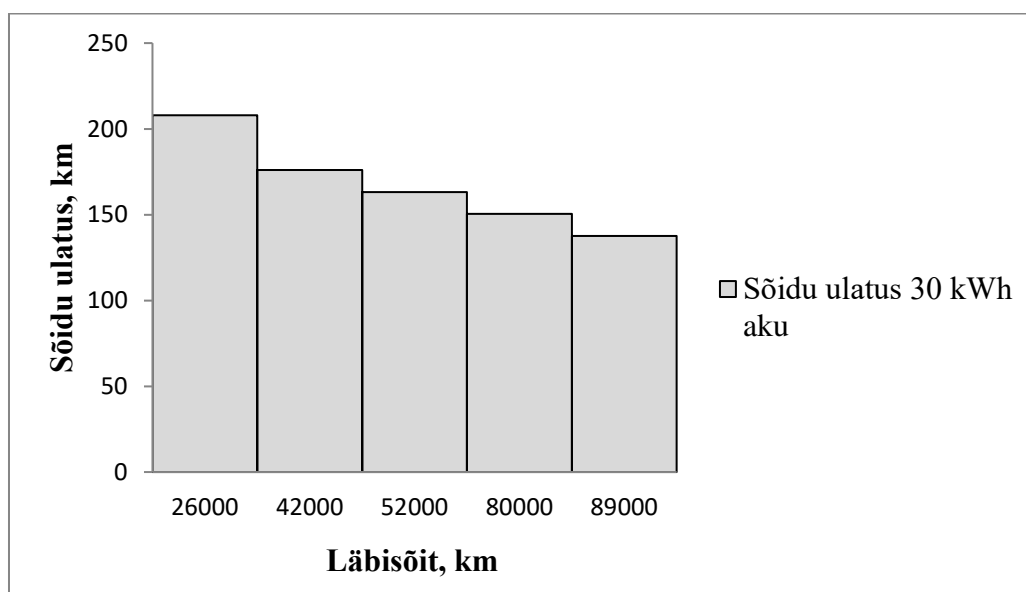
Üheks levinumaks elektriautoks võib nimetada Nissan Leafi, mille kasutajate seas viidi läbi uuring „Plug In America’s“, mille käigus uuriti akude mahtuvuse vähenemise sõltuvust läbitud kilomeetritega [3].

Nissan Leaf kuvab kasutajale aku SOC% ja mahtuvust, mis jagatud kokku 12 mahtuvuse tulpaks. Kõige suurema mahtuvusega on 12 tulp, mille väärtuseks on 15% ja järgnevatel on 6,25% [3].

Tabel 2. Nissan Leafi aku mahtuvuse vähenemine vastavalt läbisõidule. Allikas [4]

Aku mahtvus	Keskmine läbisõit, km	Sõidu ulatus 24 kWh aku korral, km	Sõidu ulatus 30 kWh aku korral, km	Sõidu ulatus 40 kWh aku korral, km
12	25837	128	208	272
11	41579	109	176	230
10	52283	101	163	213
9	79410	93	150	197
8	89000	85	138	179

Umbes 90 000 läbitud kilomeetri jooksul väheneb auto sõidu ulatus 70 km 30 kWh aku puhul, mis teeb mahtuvuse vähenemiseks 33,7%.



Joonis 5. Sõidu ulatuse vähenemine sõltuvalt elektriauto läbisõidust. Allikas [4]

Eestis kehtib Nissan Leafi akudele garantii kuni 5 aastat või 100 000 km läbimiseni [5]. Aku kuulub välja vahetamisele juhul kui akumahtuvus peaks vähenema rohkem kui 4 tulpaa eeltoodud tingimustel.

TULEMUSED JA ARUTELU

Projekti „Cabled“ käigus selgus, et DoD oli keskmiselt kasutajatel 35% ja laadimist alustati SOC 55% juures ja keskmiselt laeti akut aastas 200 korda. Leitud tulemuste põhjal on aku eeldavaks elueaks 1600 DoDCE tsüklit, millest kasutatakse 10 aasta jooksul ära 700 DoDCE tsükli seega on akul veel varus 900 DoDCE tsüklit enne kui aku ammendub täielikult.

Arvestades, et Nissan Leafi 30 kWh aku puhul on läbitavaks vahemaaks 208 km ja „Cabled“ projektis leiti, et DoD on keskmiselt 35%, siis auto kasutamisel oli keskmiseks läbitud vahemaaks 72,8 km. Aastane läbisõit on keskmisel kasutajal 14860 km.

Umbes 90000 km läbisõidu juures vähenes Nissan Leafi aku mahtuvus 33,7% ehk sõidu ulatus väheneb 70 km võrra. Keskmisel kasutajal kuluks sel juhul 6 aastat. Maksimaalseks läbitavaks vahemaaks oleks 6 aasta pärast 138 km. Vastavalt tulemustele oleks aku DoD 52,8% läbitud 72,8 km kohta, millest võib järeldada, et teoreetiliselt võimaldatud 900 DoDCE on optimistlik.

JÄRELDUSED

Elektriauto aku mahtuvuse vähenemine sõltub paljudest välistest faktoritest, seega võib mahtuvus muutuda erinevalt. Kõige olulistemateks faktoriteks võib nimetada elektriauto laadimis tsüklite pikkusi, ümbritsevat kliimat ja autojuhi sõidustiili tulenevaid eripärasid. Arvestades keskmise kasutaja kasutusharjumusi, võib väita, et elektriauto aku elueaks on keskmiselt 8 aastat. Tulemustest selgus, et keskmine elektriauto kasutaja DoD on 35%, 89000 km läbimisel väheneb aku mahtuvus keskmiselt 33,7%. Arvestades saadud tulemusi, tuleks elektriauto soetajal mõelda oma kasutusharjumustele ja arvestada akumahtuvuse vähenemisega ning tulevikus aku väljavahetamise kuludega.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] M. Mägi, “Development and Control of Energy Exchange Processes between Electric Vehicle and Utility Network,” 2013.
- [2] D. Strickland, L. Chittock, D. A. Stone, M. P. Foster, and B. Price, “Estimation of transportation battery second life for use in electricity grid systems,” *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 5, no. 3, pp. 795–803, 2014.
- [3] T. Saxton, “Plug In America’s LEAF Battery Survey,” pp. 1–12, 2012.
- [4] Erin Yurday, “A Study on Real-Life Nissan Leaf Battery Deterioration,” 2018. [Online]. Available: <https://www.nimblefins.co.uk/nissan-leaf-battery-capacity-range>.
- [5] Nissan, “Aku garantii,” 2018. [Online]. Available: https://www.nissan.ee/soidukid/uued-soidukid/leaf/ulatus-laadimine.html?wcmmode=disabled#driving_tools.

Autopargi haldamine

Fleet management

A.Vool

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut

Abstract.

This paper come to grips with vehicle fleet management and explains Estonia public sector concept. Additionally opens public sector vehicle fleet management problems.

Vehicle fleet management of public sector and data gathering in opinion of this work author is on an adequate level regulated but unfortunately there is no uniform approach to data analysis and in conclusions. The purpose of this work is to introduce Life Cycle Cost method and illustrate it in example of two vehicle from one institution.

In summary can be added that Life Cycle Cost method is usable but needs some specific data gathering and certain consistency.

Key words: vehicle fleet management, public sector, life cycle cost

SISSEJUHATUS

Autopargi haldamine on administratiivne lähenemine, mis võimaldab asutustel nende sõidukeid organiseerida ja koordineerida, et suurendada tõhusust, vähendada kulusid ja tagada vastavus seadustele [1]. Autopargi haldamise üldist eesmärki võiks sõnastada järgmiselt: optimaalsete kuludega tagada autopargi maksimaalne hõivatus. Sealjuures tuleb väga rangelt jääda seatud eelarve juurde. Seetõttu on oluline mõista autodega toimuvat ja tagada asjakohaste andmete kogumine. Andmete kogumine, nende hilisem töötlemine ja analüüs peavad andma ühtse vastuse tekkida võivatele küsimustele ja tagama vahendite kasutamise läbipaistvuse.

Oma igapäevastes tegevustes autopargihaldurid just eelpool nimetatud kirjeldusest vaikimisi juhitud. Autopargi haldus tegevusena on vajalik kahte tüüpi asutustes: autopargi haldamise teenusega tegelevad ettevõtted ja asutused, kes tegelevad oma ettevõtte sõidukite haldamisega. Autopargi haldamine nõuab suurt täpsust, inimressursse ning väljendub suures administratiivses koormuses [2]. Ärijuhtimise konsultant Peter Drucker on öelnud: "Mida saab mõõta, saab hallata." Teenusehaldurid teavad hästi, et ilma kriitiliste näitajate mõõtmisteta on väga raske näha, kus on vaja teha parandusi rääkimata puuduste likvideerimistest. Ilma ülevaata ei saa tegevusi täita optimaalse tasemega [3]. Sarnast mõttekäiku on väljendanud ka Maher Hazine, kes Ameerika Ühendriikide Arizona osariigi Peoria linna kommunaalteenuste osakonna direktorina on öelnud, et autopargi haldamisel peab olema piisavalt üksikasjalikke andmeid ja ennekõike tuleks alustada just nende kogumisest [4].

Üldisemalt võib märkida, et on viis suurust, mida peaks teadma:

- a) Kütusekulu L/100km. Enamiku autoparkide puhul on kütus üks suurimaid kulutusi ja see on valdkond, kus on kõige rohkem kulude kokkuhoidmise võimalusi;
- b) Remondikulu sõiduki kohta. Kui kütusekulu on number üks, siis hoolduskulu on kindlasti teisel kohal (see sõltub sellest, kuidas sõidukeid kasutatakse);
- c) Kasutamise intensiivsus;
- d) Kahjustuste ja õnnetuste likvideerimise kulud;
- e) Sõiduki jääkväärtus/turuväärtus. [5]

Võib öelda, et kriitilist rolli haldamisel omavad kaks faktorit: ressursi olemasolu kompetentsete autopargihaldurite näol ja sõidukitest ülevaate saamiseks asjakohaste andmete kogumine. Eelnevale tuginedes võib tõdeda, et üks efektiivse autopargi mõõdik on raha. Sellest tulenevalt on märkimisväärne huvi teada, millal sõidukeid osta, müüa või parandada. Sest just need on põhilised tegevused haldamisel. Selline mõõdik peaks põhinema ühtselt arusaadaval meetodikal ja olema lihtsasti kasutatav.

Avalik sektor jaguneb valitsussektoriks ja muuks avalikuks sektoriks. Eestis jagatakse valitsussektor kolmeks all sektoriks: keskvalitsus, kohaliku omavalitsuse üksused ja sotsiaalkindlustusfondid. Muu avaliku sektori alla kuuluvad riigi ja teiste valitsussektori liikmete osalusega kaupu ja teenuseid tootvad avaliku sektori ettevõtted (nt Eesti Energia, Tallinna Sadam) ja Eesti Pank [6].

Riigikontrolli 26.08.2016 avaldatud auditis märgitakse, et ametiasutuste sõidukite soetamist ja kasutamist reguleeritakse riigivaraseaduse, riigieelarve seaduse ja riigihangete seaduse ning ligikaudu 20 aastat tagasi kehtestatud Vabariigi Valitsuse määrustega: Vabariigi Valitsuse 07.05.1997. a määrus nr 95 „Valitsusasutuste ametiautode kasutamise korrastamine“ ning 22.07.1997. a määrus nr 142 „Ametisõitude korraldamine ja kulunormid valitsusasutustes“. Samas auditis teeb riigikontroll rahandusministeeriumile koostöös teiste ministeeriumitega ettepaneku: eelarveraha sihipärase ning säästliku kasutamise tarvis analüüsida, kas ja kui mitme sõiduki kasutamine on vajalik tööülesannete täitmiseks, ning optimeerida sõidukite arvu [7]. Siinkohal pole autorile oluline ettepanek ja selle sisu, vaid rahandusministeeriumi vastus sellele. Nimelt ei pea rahandusministeerium oma vastuses õigeks hinnata keskselt asutuste tööks vajaliku vallasvara piisavust/mittepiisavust. Tööks vajalike vahendite optimaalne planeerimine, soetamine ja haldamine on riigivara seadusest tulenevalt iga riigivara valitseja kohustus [7].

Samas vastuses peitub üldine probleem, millele on erinevate vaatenurkadega viidatud mitmetes artiklites ja ühes 08.06.2015 Tallinna Tehnikaülikoolis kaitstud magistritöös. Teemat on meedia väljaannetes kronoloogiliselt käsitletud järgmiselt:

- 1) Kuidas riigiasutused oma autode kohta arvestust peavad? Eesti Maksumaksjate Liit (EML) [8]
- 2) EML loendas taas üle riigi autopargi. EML [9]
- 3) TABEL: vaata, milline näeb riigisektori autopark välja arvudes [10]
- 4) Piinlik lugu riigi autopargiga [11]
- 5) Herkel: riigi autopark on halvasti juhitud ja laristav [12]

Probleemi üldine olemus seisneb asjaolus, et puuduvad ühtsed standardid autopargi haldamisel. Samale asjaolule on viidanud ka Tauno Tuisk oma magistritöös 2015 aastal, kus autor toob välja mitmeid haldamisega seotud sõlmprobleeme:

- a) enamikel ametiasutustel puudub infotehnoloogiline rakendus sõidukite kulu- ja läbisõitude arvestamiseks [13, lk 37].
- b) ametiasutustel valdavalt puuduvad väljatöötatud standardid ja põhimõtted, mille alusel sõidukeid hangitakse. Standardite puudumine võib kaasa tuua ressursimahukad olukorrad, kus iga kord, kui tuleb alustada uute sõidukite hankimist, peab asutusesiselt hakkama analüüsima, milliseid sõidukeid on tööks vajalik hankida, sõidukipark võib muutuda hoomamatult mitmekesiseks ja võivad tekkida olukorrad, kus iga ametnik või ka struktuuriüksuse juhid soovivad oma äranägemise järgi uusi sõidukeid valida [13, lk 38].
- c) Paljudel ametiasutustel puuduvad asutusesisesed sõidukipõhised arvestusmeetodid, mis võimaldaksid selgelt ja üheselt fikseerida sõidukite andmeid [13, lk 42].

MATERIAL JA METOODIKA

Avaliku sektori autopargi üle arvestusepidamisel tuleb arvestada, et kasutatavad meetodid peavad olema rakendatavad vähese ressursiga ja kõige optimaalsemal viisil, ning haakuma võimalusel kasutusel olevate süsteemidega.

Täna kehtivad avaliku sektori autopargi üle arvestusepidamisel mõned nõuded, millede järgmine on seadusest tulenev kohustus. Hetkel kehtiv avaliku sektori finantsarvestuse ja -aruandluse juhendi §32 lg 4 sätestab järgmist:

Riigiraamatupidamiskohustuslaste üksused, v.a Kaitsevägi ja välisesindused, kasutavad maismaasõidukitega seotud tehingute kajastamisel riigi ühtses majandustarkvaras SAP arvestusobjekti „Ressurss/kulukoht” koodi, mis määratakse igale omandis olevale või renditud või tasuta kasutusse saadud sõidukile. Koodi nimetusse märgitakse sõiduki kategooria, kasutusotstarve, kasutamist lubava tehingu liik, sõiduki mark ja mudel. Kulud on lubatud jätta sõidukite kaupa jaotamata, kui see on põhjendatud arvestuse liigse keerukuse vältimiseks [14].

Lisaks eelpool nimetatule toimub ükskorda aastas lõppenud aasta seisuga asutuse kasutuses või omandis oleva M või N kategooria sõiduki odomeetri näidu kajastamine bilansivälisel kontrol.

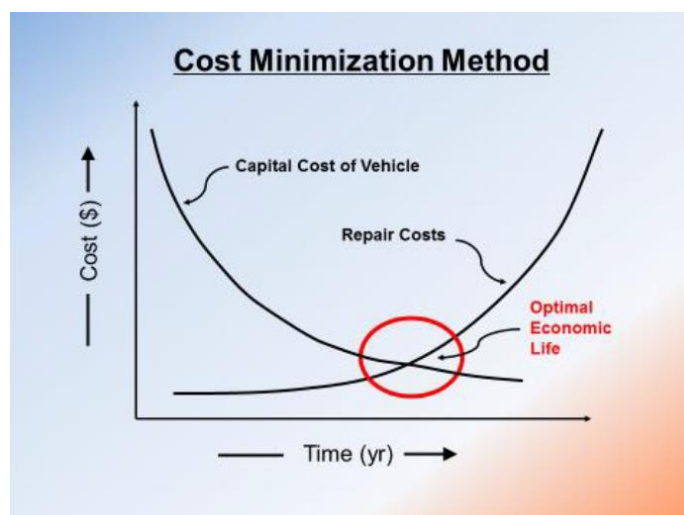
Lisaks eelpool nimetatule on sõltuvalt asutusest ja sõidukite kasutamise otstarbest siiski mõistlik pidada sõidukite kasutamise üle sõidupäevikut. Selle mõistlikkus tuleneb sõiduautode maksustamisest ja tõendamiskohustusest [15]. Sõidupäeviku pidamise vorm ja viis on vaba, kuid seal peab kindlasti olema fikseeritud sõiduki kasutamisel alg ja lõpp odomeetri näit, läbitud vahemaa ja sõidu eesmärk.

Kui andmete kogumine ja nende hulk on osaliselt fikseeritud, siis nende hilisema analüüsi ja järelduste osas puudub ühtne väljund. Seetõttu võib väita, et tulemused pole mitte alati võrreldavad ja järeldused võivad põhineda mitte täielikel andmetel.

Senisele kogemusele tuginedes väidan, et otsused sõidukite asendamiseks tuginevad enamasti kahel näidul sõiduki vanusel ja tema läbisõidul. Otsuste tegemisel täiendatakse neid andmeid sõiduki ülalpidamiseks tehtud remondikulutuste suurusega. Tauno Tuisk leiab tema poolt koostatud magistritöös, et mõistlik on ametiasutuste sõidukitele kehtestada läbisõidunorm 25000 kilomeetrit aastas ja seda kuni 10 aastat [13]. Arvamus tugineb sõidukite soetamisega seotud kulude analüüsile, kuid ei arvesta sealjuures ülalpidamiseks tehtavaid kulutusi ja muidu kasutamisega seotud argumente.

Hetkel puudub mudel või meetod, mida oleks võimalik kergesti rakendada tuginedes kohustuslikus korras kogutavatele andmetele, ja mis annaks üksikust sõidukist või sõidukipargist ühese ülevaate. Mudeli või meetodi rakendamine peaks olema otsustajatele tööriist, mida kasutades on võimalik üksikule sõidukile või sõidukipargile anda ühene hinnang.

Üheks võimaluseks on kasutada analüüsi ja järelduste tegemisel sõiduki elutsükli maksumust (EM) inglise keeles *Life Cycle Costing (LCC)*. Sõidukite vananemisel kulutused hooldusele ja remondile kasvavad, ning samal ajal muud kulud nagu kulum vähenevad. Hetkel kui nende ja muude sõiduki omamiseks tehtavad kulutuste summa on saavutanud miinimumi on sõiduk saavutanud oma maksimaalse majanduslikult mõistliku eluea [16]. Nimetatud meetodi kasutamisel eristatakse sõiduki ülalpidamiskuludes kahte komponenti: kulutused sõiduki omamiseks (OK) ja ülalpidamisega seotud kulud (ÜK). Elutsükli maksumuse meetodi rakendamist iseloomustab joonis 1. Meetod võimaldab järeldusi teha pärast kulude tekkimist. Sellest tulenevalt on selle kasutamise ja rakendamise puhul vajalik detailselt mõista kulude tekkimise põhjuseid ja võimaldada sealjuures iga üksiku komponendi iseloomustamist ning hinnata selle mõju mudelile või meetodile.



Joonis 1. Sõiduki soetamise ja remondile tehtavate kulutuste suhe. Allikas: [17]

Sõiduki omamisega seotud kulud (OK) on: amortisatsioon, kindlustused, maksud, hoiustamised, parkimised. Ülalpidamiseks tehtavad kulutused (ÜK) on: hooldused, remondid, tarvikud, kütus ja muud sõiduki otsese kasutamisega seotud kulutused [18]. Elutsükli maksumust on võimalik väljendada valemiga:

$$EM = OK + ÜK \quad (1)$$

kus EM on elutsükli maksumus;

OK - omamiskulud;

ÜK - ülalpidamiskulud.

Hetkel kehtiv avaliku sektori finantsarvestuse ja -aruandluse juhend järgib kulude kajastamisel kontoplaani ja kulude liigendus on esitatud tabelis 1.

Tabel 1. Avaliku sektori maismaasõidukite kulude kajastamise kontod.

Konto	Nimetus
551300	Kütus
551303	Korrashoiu- ja remondimaterjalid, lisaseadmed ja -tarvikud
551306	Remont ja hooldus
551307	Kindlustus
551308	Rent
551309	Muud maismaasõidukite majandamiskulud

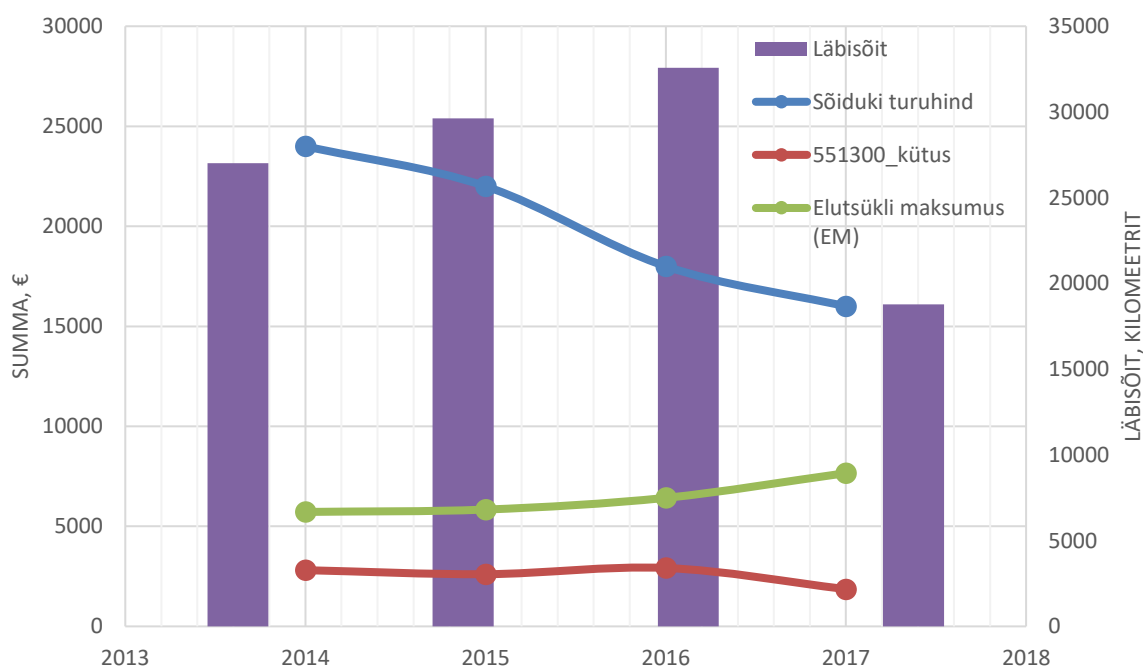
Selline detailsus võimaldab ilma täiendavate andmeteta rakendada elutsükli maksumuse arvestamise metoodikat. Kõik vajalikud andmed on autopargihalduritel kättesaadavad SAP BusinessObjects rakenduse abil.

Järgnevalt kaks näidet kahe identse sõiduki kohta, millede läbisõit vaadeldaval perioodil erineb ca 30%. Väiksema läbisõiduga sõiduki andmed on koondatud tabelisse 2 ja joonisele 2. Suurema läbisõiduga sõiduki andmed on koondatud tabelisse 3 ja joonisele 3.

Tabel 2. Toyota Hilux nr 1. kulud.

Aasta	Omamisega seotud kulud (OK)		Ülalpidamisega seotud kulud (ÜK)				Sõiduki turuhind	Läbisõit	Elutsükli maksumus (EM)
	551307_kindlustus	amortisatsioon	551300_kütus	551303_korrashoiu- ja remondimaterjalid, lisaseadmed ja -tarvikud	551306_remont ja hooldus	551309_muud maismasõidukite majandamiskulud			
2014	560,11	4434	2809,35	176,31	512,25	38,05	24000	27007	5720,72
2015	466,79	4434	2609,02	12,32	892,82	33,33	22000	29625	5839,26
2016	585,2	4434	2919,24	14,33	1387,99	3,58	18000	32573	6425,1
2017	718,24	4434	1862,03	39,39	1703,75	764,42	16000	18789	7659,8

Toyota Hilux nr 1 elutsükli maksumus

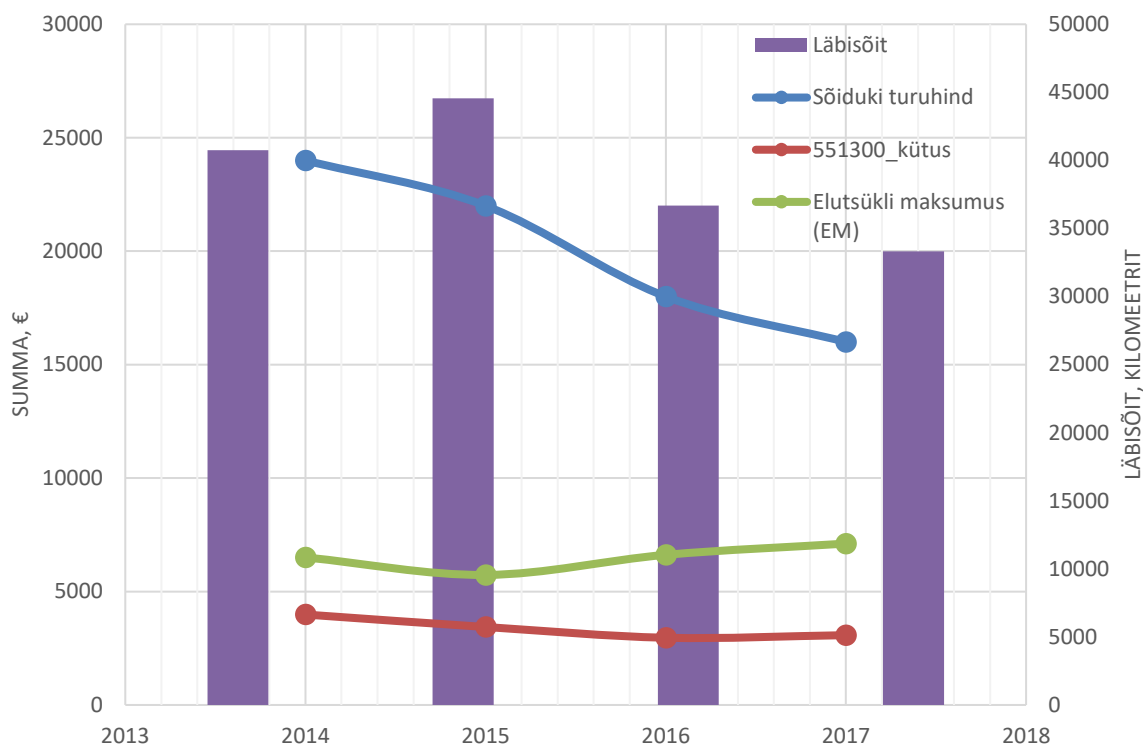


Joonis 2. Toyota Hilux nr 1 elutsükli, turuhinna, kütusekulu ja läbisõidu ülevaade.

Tabel 3. Toyota Hilux nr.2 kulud.

Aasta	Omamisega seotud kulud (OK)		Ülalpidamisega seotud kulud (ÜK)				Sõiduki turuhind	Läbisõit	Elutsükli maksumus (EM)
	551307_kindlustus	amortisatsioon	551300_kütus	551303_korrashoiu- ja remondimaterjalid, lisaseadmed ja -tarvikud	551306_remont ja hooldus	551309_muud maismasõidukite majandamiskulud			
2014	560,11	4434	3986,18	363,55	714,39	430,35	24000	40743	6502,4
2015	441,91	4434	3436,06	42,93	774,73	37,5	22000	44566	5731,07
2016	535,44	4434	2963,22	52,65	1157,18	437,49	18000	36684	6616,76
2017	627,03	4434	3077,23	13,58	1233,99	803,33	16000	33322	7111,93

Toyota Hilux nr 2 elutsükli maksumus



Joonis 3. Toyota Hilux nr 2. Elutsükli, turuhinna, kütusekulu ja läbisõidu ülevaade.

TULEMUSED JA ARUTELU

Nähtub, et ametiasutuste poolt kohustuslikus korras kogutavad andmed võimaldavad sõidukite ülalpidamisega seotud täpsemaid analüüse ja hilisemaid järeldusi. Kahe sõiduki andmete põhjal on võimalik öelda, et ainult läbisõidu põhjal sõiduki vahetamiseks tehtav järeldus võib olla ekslik. Kuigi sõidukite läbisõit erineb 30% võib nende tehnilist seisukorda pidada selliseks, et sõidukite kasutamise jätkamine on mõistlik ja majanduslikult põhjendatud. Seda põhjusel, et sõidukite elutsükli maksumused on samas suurusjärgus ja erinevad nelja kasutamise aasta kohta kokku 317€

JÄRELDUSED

Hetkel kogutavad andmed on sellises detailsuses, et pole võimalik väga täpselt eristada kõiki komponente. Võimalusel tuleks osade kulude kajastamisel kasutada täpsema liigendusega allkontosid, et eristada tehingute sisu. Mõistlik oleks eristada rehvidega, GPS-seire, parkimisega ja erivarustuse paigaldamisega seotud kulusid.

Hetkel on väga suure osakaaluga amortisatsiooni komponent, seda põhjusel, et soetamisel on sõiduki elueaks märgitud 5 aastat. Selle tegelikku pikkust tuleks sõiduki soetamisel olemasolevatele andmetel tuginedes täpsemalt hinnata, et mudeli kasutamisel oleks sellel siiski adekvaatne suurus.

Samuti pole võimalik täpselt hinnata sõiduki turuväärtust tagantjärele ja seetõttu pole see komponent väga täpne. Mõistlik on sõiduki turuväärtuse kohta andmeid koguda aasta vältel.

Kinnitust leidis, et elutsükli maksumuse meetodit on võimalik juba täna rakendada, kuid vajab osaliselt täpsemaid andmeid. Lisaks tuleks juurde arvestada ka prognoosimise kasutamise võimalust, et meetod oleks tulevikku vaatav, sest riigieelarve koostamine käib nelja aastase eelarvestrateegia alusel ja seetõttu on oluline täpsem prognoos. Lisaks tuleks leida võimalus kajastada rikete kõrvaldamisest tekkiva ajakuluga, sest paratamatult sõiduki vananedes nende sagenemise tõenäosus suureneb.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] **Margaret Rouse.** Fleet management. <http://whatis.techtarget.com/definition/fleet-management> kättesaadav 26.03.2018.
- [2] **Cseresnyés, Gábor.** How to Save Money With Fleet Management Software. Budapest Business Journal, 2017, 25, 16, 15-15, Absolut Media
- [3] **Marder, Alan; Laake, Melinda.** A better way to manage your fleet: integrating lift truck fleet management systems and labor management systems can help companies more effectively manage what's measured. Material Handling & Logistics, 2015, 3, 38, Penton Media, Inc., Penton Business Media, Inc. and their subsidiaries.
- [4] **Adelaide Chen.** Fleet Management: It's All About the Numbers. http://www.sustainablecitynetwork.com/topic_channels/transportation/article_c2542d42-0db5-11e2-8ee5-0019bb30f31a.html kättesaadav 26.03.2018.
- [5] **Rory Deegan.** Fleet Manager Series - 5 Numbers Every Fleet Manager Needs To Know. <http://www.fleetcare.com.au/news-info/fleet-beat-blog/october-2011/fleet-manager-series-5-numbers-every-fleet-manager> kättesaadav 26.03.2018.
- [6] Valitsusasutuste ja nende hallatavate asutuste sõiduautode kasutamise andmete analüüsi edastamine tutvumiseks. <http://dokumendiregister.rahandusministeerium.ee/?id=50240520> kättesaadav 20.02.2018
- [7] Ministeeriumide sõidukite majandamise otstarbekus. <https://www.riigikontroll.ee/Suhtedavalikkusega/Pressiteated/tabid/168/ItemId/917/View/Docs/amid/557/language/et-EE/Default.aspx> kättesaadav 20.02.2018
- [8] Kuidas riigiasutused oma autode kohta arvestust peavad? <http://www.maksumaksjad.ee/modules/smartsection/item.php?itemid=704> kättesaadav 20.02.2018

- [9] EML loendas taas üle riigi autopargi. <http://arileht.delfi.ee/news/uudised/tabel-vaata-milline-naeb-riigisektori-autopark-valja-arvudes?id=71319533> kättesaadav 20.02.2018
- [10] **Lemmi Kann.** TABEL: vaata, milline näeb riigisektori autopark välja arvudes. <http://arileht.delfi.ee/news/uudised/tabel-vaata-milline-naeb-riigisektori-autopark-valja-arvudes?id=71319533> kättesaadav 20.02.2018
- [11] **Oliver Kund.** Piinlik lugu riigi autopargiga. <https://leht.postimees.ee/3218395/piinlik-lugu-riigi-autopargiga> kättesaadav 20.02.2018 kättesaadav 20.02.2018
- [12] **Romet Kreek.** Herkel: riigi autopark on halvasti juhitud ja laristav. <http://arileht.delfi.ee/news/uudised/herkel-riigi-autopark-on-halvasti-juhitud-ja-laristav?id=77451144> kättesaadav 20.02.2018
- [13] **Tauno Tuisk.** (2015). Eesti ametiasutuste sõidukikulude vähendamise võimalused. Tallinn: 83 lk.
- [14] Avaliku sektori finantsarvestuse ja -aruandluse juhend. <https://www.riigiteataja.ee/akt/13174576?leiaKehtiv> kättesaadav 26.03.2018
- [15] Tööandja sõiduauto erisoodustuse maksustamine alates 1. jaanuarist 2018. <https://www.emta.ee/et/ariklient/tulu-kulu-kaive-kasum/tsd-muudatused-2018-aastal/tooandja-soiduauto-erisoodustuse> kättesaadav 26.03.2018
- [16] **J. Collins, E.** (2017). Fleet Replacement Evaluation Tool for the Town of Sherborn. 24 lk.
- [17] **J. Timothy Beirnes.** (2012). Analysis of Fleet Replacement Lifecycle .16 lk.
- [18] **Douglas D. Gransberg.** (2015). Major Equipment Life-cycle Cost Analysis. 107 lk.

Hooldustöötajate tööeripära ja skeletilihasvaevused

G. Must¹, E. Merisalu¹, M. Pääsuke²

¹Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogia õppetool,

²Tartu Ülikool, Meditsiiniteaduste valdkond, Sporditeaduste ja füsioteraapia instituut

Abstract. The aim of the study was to determine the prevalence of musculoskeletal disorders (MSD) among caregivers and to analyze relationships between MSDs and work related and individual factors. The study was carried out at the Tartu University Hospital. The subjects ($n = 227$) of this study were female caregivers with mean age of 50.5 ± 12.7 years and with average service length $9,7 \pm 7,61$ years. The questionnaire was compiled based on international validated questionnaires and used to collect the data on work character and MSD prevalence by body region. The results showed that the most of the respondents suffered from low-back (56.8%), neck (45.8%) and knee pain (44.9%) during the last year. There was a similar order but somewhat lower MSD prevalence by body regions in the last month: the low-back (48.0%), neck (42.7%) and knee pain (41.9%) region. Workload (hours per week) and the number of patients per day were the main risk factors related to MSDs. The correlation analysis showed that the higher the body mass index and the severe knee ($p = 0.001$) and low-back pain ($p = 0.01$) have reported in the last month. That to prevent MSDs among the caregivers, it is important to pay attention not only on work related but also on the individual factors.

Keywords: caregivers, musculoskeletal disorders, work related and individual factors.

SISSEJUHATUS

Skeletilihasvaevused on peamiseks terviseprobleemiks töötavate elanike seas nii Euroopas kui ka Eestis [1, 2]. Euroopa Tööohutuse ja Töetervishoiu Agentuuri (*EU-OSHA*) andmetel on skeletilihasvaevused väga tõsiseks probleemiks meditsiinitöötajatel [3]. Füüsiliselt koormav on just hoolduspersonali töö, kes puutub igapäevaselt kokku patsientide abistamisega, mis on peamiseks teguriks skeletilihasvaevuste tekkes [4, 5].

Hooldustöötaja (hooldaja, põetaja) põhilisteks ülesanneteks on patsientide abistamine isikliku hügieeni tagamisel, söömisel, suukaudsete ravimite manustamisel, riietumisel, eritamisel ning liikumisel ja treenimisel. Hooldajate ülesandeks on hoida hooldatava keskkond puhtana, sh koristada patsiendi ruumi ja vahetada voodipesu [6].

Paljud uuringud kinnitavad seost skeletilihasvaevuste ning hooldustöötajate töö vahel [7–11]. Uuringutest on selgunud, et peamiseks hooldustöötajate terviseprobleemiks on seljavalu [10–12]. Portugalis läbi viidud uuringu kohaselt esines 409 hooldaja hulgas skeletilihasvaevusi 89%, millest alaselja vaevusi oli 63,1% [12]. Lisaks selja probleemidele esineb hooldustöötajatel vaevusi ka kaelas, õlavöötmes, ülajäsemetes ja põlvedes [12, 13]. Erinevatest uuringutest on leitud, et skeletilihasvaevuste esinemine on seotud individuaalsete teguritega nagu vanus, sugu, kehamassiindeks, keheline aktiivsus ja üldine tervislik seisund, aga ka tööalased riskifaktorid [12–14]. Pidev ajanappus, vähene toetus ja tööga rahulolematuse on sagedamini skeletilihasvaevusi põhjustavad tööst tulenevad psühholoogilised faktorid hooldustöötajatel [13, 14].

Uuringu eesmärgiks oli välja selgitada skeletilihasvaevuste levimus hooldustöötajatel ja analüüsida tööeripärast tulenevate ning individuaalsete tegurite seoseid nende vaevuste tekkel.

MATERJAL JA METOODIKA

Uuring viidi läbi SA Tartu Ülikooli Kliinikumis (SA TÜK) 2017 oktoober kuni 2018 märts. Uuritavasse gruppi kuulus hoolduspersonal ($n = 352$) kolmeteistkümnest SA TÜK kliinikust. Uuringusse kaasati hooldustöötajad, kes vastasid järgmistele kriteeriumitele: naissoost, täiskohaga hooldustöötaja, vähemalt aastane tööstaaž ja vanus 18–75 eluaastat.

Uuringus kasutati ankeetküsimustikku, mille eesmärgiks oli teada saada hooldustöötajate töö eripärast, skeletilihasvaevuste esinemisest ja üldistest tervisega seotud teguritest. Ankeetküsimustik põhines rahvusvaheliselt valideeritud küsimustikel nagu *COPSOQ* (*Copenhagen Psychosocial Questionnaire*), *CUPID* (*Cultural and Psychosocial influences on Disability*) ja *NMQ* (*The Nordic*

Musculoskeletal Questionnaire) [15–17]. Ankeet koosnes neljast osast: 1) sotsiaal-demograafilised tunnused; 2) töö eripära; 3) valu erinevates keha piirkondades (alaselg, kael, õlg, küünarvars, ranne ja käelaba ning põlv) viimase 12 kuu ja viimase ühe kuu jooksul; 4) terviseküsimused. Vastajatel oli võimalik anda vastuseid jah/ei vormis, avatud vastustena ning *Likert*-tüüpi skaaladel, kus näiteks valu tugevust hinnati 10–palli skaalal (0 – valu pole esinenud, 10 – talumatu valu). Ankeet koosnes kokku 82 küsimusest, millest analüüsiti 62 küsimust. Vastamiseks kulus ca 25 minutit.

Ankeetküsitlus viidi läbi paberikandjal, kuna algselt kasutatud e-küsitlus *Google Drive* keskkonnas ei andnud tulemusi. Kuna uuritavast grupist teatud osakonnad ei soovinud uuringus osaleda, jagati laiali 275 ankeetküsimustikku. Uuringuga nõustunud osakondade vanemõed jagasid küsimustikud nendele hooldajatele, kes vastasid kriteeriumitele. Uuringu läbiviimiseks saadi nõusolek SA Tartu Ülikooli Kliinikumi eetikakomiteelt ning Tartu Ülikooli Inimuuringu eetika komiteelt (18.09.2017, nr. 273/T-12). Tulemused sisestati andmetöötlusprogrammis *Microsoft Office Excel* 2010 ja andmete analüüsimiseks kasutati *SPSS 23.0 (Statistical Package for the Social Sciences)*. Gruppide vaheliste erinevuste leidmiseks kasutati χ^2 -testi. Näitajate vaheliste seoste leidmisel kasutati korrelatsioonanalüüsi.

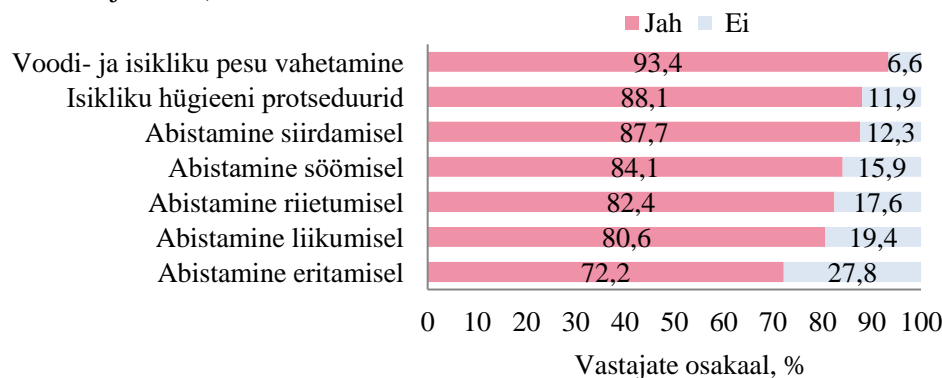
TULEMUSED JA ARUTELU

Ankeetküsimustikule vastas 227 hooldajat 275-st, vastamise määr – 82,5%. Kõik uuritavad olid naissoost, keskmises vanuses $50,5 \pm 12,7$ a., kusjuures noorim uuringus osaleja oli 19-a. ning vanim 75-a. Osalenute keskmine pikkus oli $164 \pm 0,6$ cm ning keskmine mass $77,9 \pm 16,3$ kg. Osalenute keskmine kehamassiindeks (KMI) oli $29 \pm 5,8$ kg/m². Suurem osa vastanutest jagunes rasvunuteks (39,7%) (KMI ≥ 30 kg/m²) ja ülekaalisteks (36,2%) (KMI 25–29,9 kg/m²) ning normkaalus oli vaid 24,1% töötajatest (KMI 18,5–24,9 kg/m²). Enamus vastajatest (71,3%) magas keskmiselt 6–8 tundi. Ligi pooled (47,1%) hindasid oma une kvaliteedi pigem halvaks.

Keskmine tööstaaž antud ametikohal oli $9,7 \pm 7,61$ a. (minimaalselt 1 a. ja maksimaalselt 33 a.). Uuritavatest 43,2% töötas nädalas rohkem kui 40 tundi. Igakuise graafiku tõttu oli töökoormus muutuva iseloomuga. Selgus, et 57,7% vastanutest puutus päevas kokku kuni 10 ning 42,3% rohkem kui 10 patsiendiga. Küsitlusest selgus, et vahetustega töötas 88,1% vastanutest. Töövahetuste pikkus ja sagedus olid varieeruvad, kuid sageli tehti nädalas vahetustsükleid 2x24 tundi. Suurem osa (89%) osalejatest töötas ka nädalavahetustel. Vastanutest 45,4% pidid töötama sageli väga kiiresti. Üle poolte (59,5%) tegid oma töös teadlikult regulaarseid puhkepause. Ülejäänud tegid puhkepause siis, kui selleks tekkis võimalus.

Suurel osal (77,1%) oli võimalus kasutada patsientide tõstmisel ja liigutamisel abivahendeid ning rohkem kui pooled (55,1%) kasutasid abivahendeid alati ja sageli. Suurem osa uuritavatest, kes olid teadlikud ergonoomilistest töövõtetest (85,5%) kasutasid antud võtteid oma töös (89%). Töökeskkonna muutmise ettepanekutest (39,2% vastanutest) pooltel juhtudel sooviti avaramaid palateid, veerand soovis rohkem abivahendeid ning viiendik – rohkem hooldajaid osakonda.

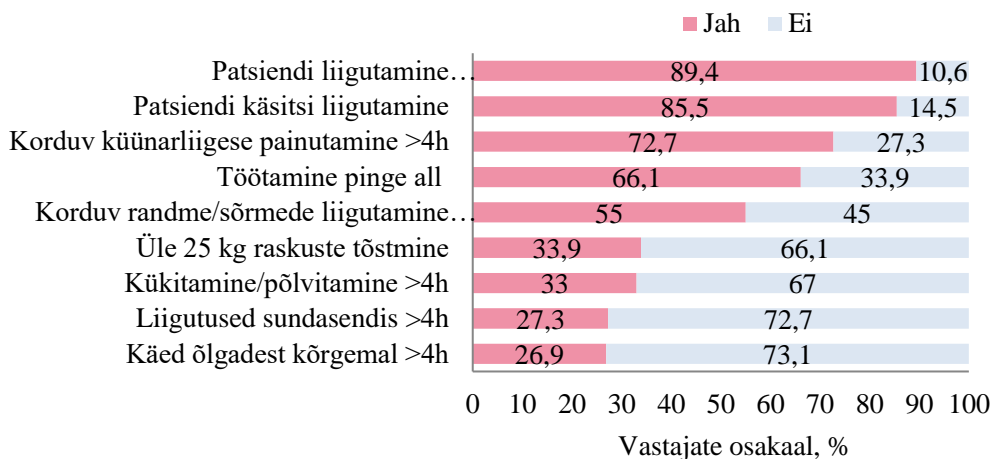
Peamisteks tööülesanneteks olid patsiendiga seotud tegevused nagu nende abistamine voodi- ja isikliku pesu vahetamisel, isikliku hügieeni protseduuridel, siirdamisel, söömisel, riietumisel, liikumisel ja eritamisel (joonis 1).



Joonis 1. Hooldustöötajate igapäevased põhilised tööülesanded (% vastajate osakaal)

Figure 1. Main daily activities of caregivers (% proportion of respondents)

Hooldajad puutusid patsienditöös igapäevaselt kokku korduvliigutuste ja sundasenditega. Joonisel 2 on näha, et hooldajate tavaline tööpäev hõlmas kõige enam patsiendi liigutamist kolleegi või abivahendiga. Suurel osal vastanutest esines küünarliigese korduvpainutamist üle 4 tunni päevas ning töötamist pinge all. Ligi kolmandik tõstis käsitsi raskusi üle 25 kg ning kükitas või põlvitas tööpäeva jooksul rohkem kui 4 tundi. Vähem kui kolmandikul esines liigutusi sundasendis ning tööd kätega õlgadest kõrgemal üle 4 tunni. Tööpäeva lõpus oli tihti füüsiliselt väsinud 69,6 % vastanutest.



Joonis 2. Sundasendid ja korduvliigutused igapäeva töös (% vastajate osakaal)
Figure 2. Job involved activities with repetitive movements in awkward positions (% proportion of respondents)

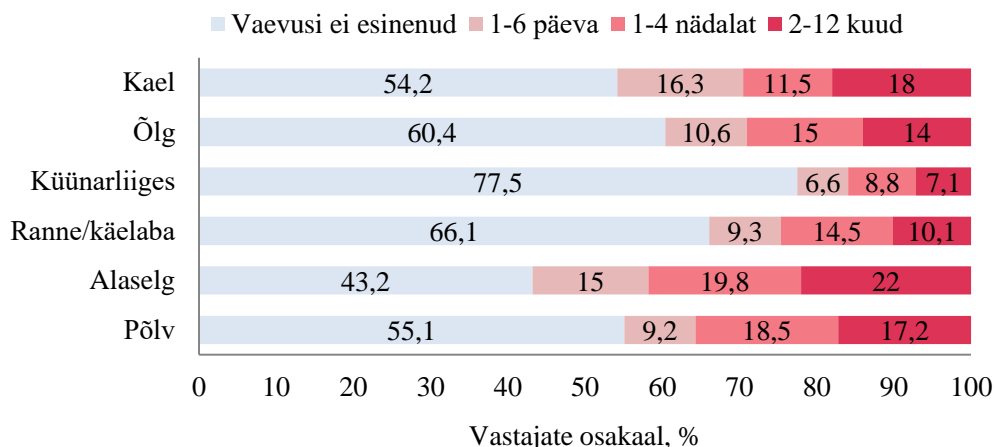
Kui analüüsiti skeletilihassettevustete esinemist hooldustöötajatel 12 viimasel kuul, selgus, et kõige rohkem esines vaevusi alaseljas (56,8%), seejärel kaela piirkonnas (45,8%) ning põlvedes (44,9%). Viimasel kuul esines vaevustes sarnane tendents – alaseljas (48,0%), kaelas (42,7%) ning põlvedes (41,9%). Võrreldes valude esinemist keha pooltes, selgus et nii viimasel kui 12 kuul esines paremas kehapooles rohkem valusid randme ja käelaba ning ning põlvede piirkonnas. Samas esines valusid paremas kehapooles vähem või võrdselt õlgade ja küünarliigese piirkonnas. Tabelis 3 on toodud vaevuste esinemine viimasel ja 12 kuul.

Tabel 1. Skeletilihassettevustete esinemine hooldustöötajatel erinevates kehapiirkondades 12 kuul ja viimasel kuul (% vastajate osakaal), (P – parem; V – vasak kehapool)

Table 1. Musculoskeletal disorders in different body regions and by the body side in past 12 months and past month (% proportion of respondents), (P – right side; V – left side)

Piirkond	Skeletilihassettevustet viimasel 12 kuul				Skeletilihassettevustet viimasel kuul			
	Kokku	P	V	Mõlemas	Kokku	P	V	Mõlemas
Õlg	39,6	11,9	11,9	15,8	31,3	10,6	8,8	11,9
Küünarliiges	22,5	7,0	7,1	8,4	22,0	7,0	7,5	7,5
Ranne/käelaba	33,9	10,1	5,3	18,5	30,0	8,8	4,8	16,4
Põlv	44,9	16,3	7,9	20,7	41,9	15,0	8,8	18,1
Kael	45,8				42,7			
Alaselg	56,8				48,0			

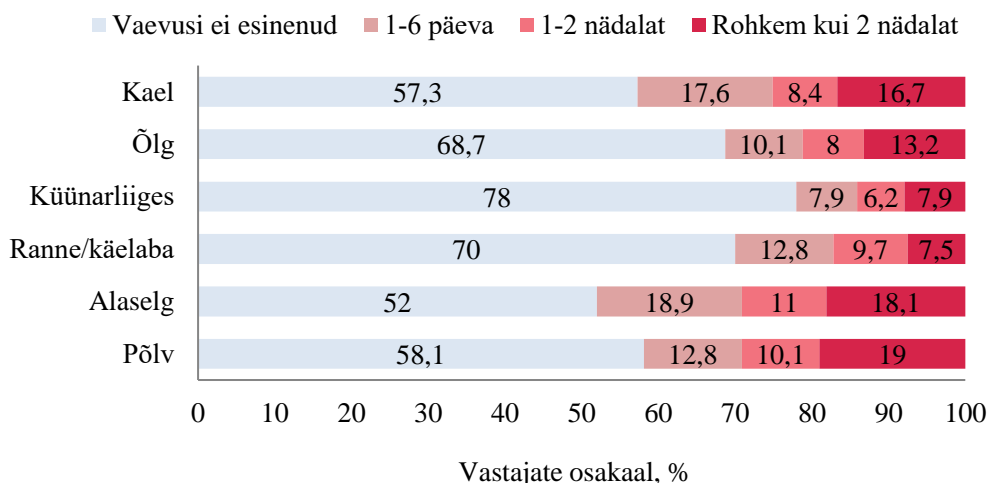
Skeletilihaskvalude esinemise kestus erinevates kehapiirkondades on toodud 12 viimasel kuul (joonis 3) ja viimasel kuul (joonis 4).



Joonis 3. Skeletilihaskvalude kestus erinevates kehapiirkondades viimasel 12 kuul (% , vastajate osakaal)

Figure 3. Duration of musculoskeletal pain in different body regions in past 12 months (% , proportion of respondents)

Jooniselt 3 on näha, et kõige pikemalt kestis valu alaseljas, seejärel kaelas ning põlvede piirkonnas.



Joonis 4. Skeletilihaskvalude kestus erinevates kehapiirkondades viimasel kuul (% , vastajate osakaal)

Figure 4. Duration of musculoskeletal pain in different body regions in the past month (% , proportion of respondents)

Jooniselt 4 on näha, et viimasel kuul esines valu kõige pikemalt põlvedes, alaseljas ja kaelapiirkonnas.

Korrelatsioonanalüüs näitas, et mida suurem oli KMI, seda tugevam oli hooldajatel nii põlve- ($p = 0,001$) kui alaseljavalu ($p = 0,01$) viimasel kuul. Varasemalt on samuti leitud, et alaselja- ja põlvevalu tugevus suureneb KMI suurenedes [18].

Gruppide võrdlus (χ^2 -test) näitas, et hooldajatel, kes töötasid rohkem kui 40 tundi nädalas nii viimasel aastal kui ka viimasel kuul, esines oluliselt rohkem küünarliigese-kaela- ja õlavalusid ($p \leq 0,01$ ja $p < 0,02$, vastavalt). Hooldajatel, kes tegelesid üle 10 patsiendiga päevas, oli oluliselt rohkem alaseljavalusid viimase kuu jooksul ($p = 0,01$). Skeletilihaskvaevustega hooldajate hulgas on oluliselt rohkem neid, kes magasid pigem halvasti nii viimasel aastal kui viimasel kuul, võrreldes nendega, kellel vaevusi ei esinenud ($p = 0,05-0,0001$).

JÄRELDUSED

Hooldajate töö oli pingeline ja muutuva iseloomuga. Enamasti töötati vahetustega ja nädalalõppudel. Peamiseks tööülesandeks hooldustöötajatel oli patsientide hooldamine ja abistamine nende esmaste vajaduste täitmisel. Töös tuli sageli ette patsiendi liigutamist kas käsitsi, abivahendi või töökaaslasega. Töö nõudis enamasti sundasendeid ja korduvliigutusi küünarliigesest, randmest ning sõrmedest. Suur osa uuritavatest kasutas ergonoomilisi võtteid oma töös ja võimalusel tehti ka puhkepause.

Hooldustöötajatel esines skeletilihasvaevusi kõige rohkem alaseljas, kaela piirkonnas ja põlvedes nii viimasel aastal kui viimasel kuul.

Hooldustöötajatel oli tööeripärast tulenevad olulised tegurid skeletilihasvaevuste tekkele töökoormus nädalas ja patsientide arv päevas. Individuaalsetest teguritest mõjutas skeletilihasvaevuste teket kehamassiindeks. Suurema kehamassiindeksiga hooldustöötajatel esinesid tugevamad valud viimasel kuul põlvedes ja alaselja piirkonnas. Nii töötundide arv nädalas kui ka teenindavate patsientide arv päevas oli tugevalt seotud valudega enamikes kehapiirkondades.

Skeletilihasvaevuste ennetamisel tuleb lisaks töö eripärast tulenevatele teguritele tähelepanu pöörata ka individuaalsele näitajatele hooldajate hulgas.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Terviseamet. (2016). Kutsehaigestumine ja tööst põhjustatud haigestumine 2016. aastal. [on-line]. Kättesaadav: [http://www.terviseamet.ee/fileadmin/dok/Tervishoid/tootervis/KH ja TPH statistika 2016.pdf](http://www.terviseamet.ee/fileadmin/dok/Tervishoid/tootervis/KH_ja_TPH_statistika_2016.pdf) (26.03.2018).
- [2] Euroopa Tööohutuse ja Töötervishoiu Agentuur. (2018). Luu- ja lihaskonna vaevused. Kättesaadav: <https://osha.europa.eu/et/themes/musculoskeletal-disorders> (26.03.2018).
- [3] Januskevicius, V., Stulginskis, A. (2013). Work-related musculoskeletal disorders among hospital workers. *OSHwiki*. Kättesaadav: [https://oshwiki.eu/wiki/Work-related musculoskeletal disorders among hospital workers](https://oshwiki.eu/wiki/Work-related_musculoskeletal_disorders_among_hospital_workers) (26.03.2018).
- [4] Tullar, J.M., Brewer, S. Amick, B.C., Irvin, E., Mahood, Q., Pompeii, L.A., Wang, A., Van Eerd, D., Gimeno, D., Evanoff, B. (2010). Occupational safety and health interventions to reduce musculoskeletal symptoms in the health care sector. *Journal of Occupation Rehabilitation*. Vol. 20, No. 2, pp. 199–219.
- [5] Dennerlein, J. T., Hoptia, K., Sembajwe, G., Kenwood, C., Stoddard, A.M., Tveito, T.H., Hashimoto, D.M., Sorensen, G. (2012). Ergonomic Practices Within Patient Care Units are Associated With Musculoskeletal Pain and Limitations. *American Journal of Industrial Medicine*. Vol. 55, No. 2, pp. 107–116.
- [6] SA Kutsekoda. (2017). Tulevikuvaade tööjõu- ja oskuste vajadusele: tervishoiud. *Tööjõuvajaduse seire- ja prognoosisüsteem* OSKA. Kättesaadav: [https://ec.europa.eu/epale/sites/epale/files/tervishoiu uuringu terviktekst.pdf](https://ec.europa.eu/epale/sites/epale/files/tervishoiu_uuringu_terviktekst.pdf) (27.03.2018).
- [7] Merisalu, E., Animägi, L., Oha, K., Freimann, T., Sirk, T. (2016). Job-Specific Factors and Prevalence of Multiple and Disabling Musculoskeletal Pain Among Office Workers, Nurses, and Caregivers in Estonia. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences*. Vol. 70, No. 5, pp. 286–293.
- [8] Munabi, I. G., Buwembo, W., Kitara, D.L., Ochieng, J., Nabirye, R.C., Mwaka, E.S. (2014). Musculoskeletal disorders among nursing staff: a comparison of five hospitals in Uganda. *Pan Africa Medical Journal*. Vol. 17, No. 81.
- [9] Serranheira, F., Sousa-Uva, M., Sousa-Uva, A. (2014). Hospital nurses tasks and work-related musculoskeletal disorders symptoms: A detailed analysis. *Work*. Vol. 51, No. 3, pp. 40–409.
- [10] Sirk, T. (2009). Liiges-lihasvalude esinemine Eesti hooldustöötajatel ning nende seosed üldise tervises seisundi ja töövõimega. (Magistritöö). Tartu Ülikooli füsioteraapia eriala. Tartu.
- [11] Ribeiro, T., Serranheira, F., Loureiro, H. (2017). Work related musculoskeletal disorders in primary health care nurses. *Applied Nursing Research*. Vol. 33, pp. 72–77.
- [12] Genc, A., Kahraman, T., Göz, E. (2016). The prevalence differences of musculoskeletal problems and related physical workload among hospital staff. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*. Vol.29, No. 3, pp. 541–547.
- [13] Bongers, P.M., Kremer, A.M., Laak, J. (2002). Are psychosocial factors, risk factors for symptoms and signs of the shoulder, elbow, or hand/wrist?: A review of the epidemiological literature. *American Journal of Industrial Medicine*. Vol. 41, No. 5, pp. 315–342.

- [14] **Smith, D.R., Mihashi, M., Adachi, Y., Hatsuyo, K., Ishitake, T.** (2006). A detailed analysis of musculoskeletal disorder risk factors among Japanese nurses. *Journal of Safety Research*. Vol. 37, No. 2, pp. 195–200.
- [15] National Research Centre for the Working Environment. (2014). Copenhagen Psychosocial Questionnaire. Denmark.
- [16] **Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, A., Vinterberg, H., Biering-Sorensen, F., Andersson, G., Jorgensen, K.** (1987). Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Applied Ergonomics*. Vol. 3, pp. 233–237.
- [17] **Coggon, D., Ntani, G., Palmer, K. T., et al.** (2012). The CUPID (Cultural and Psychosocial Influences on Disability) study: methods of data collection and characteristics of study sample.
- [18] **Hooper, M.M., Setallato, T.A., Hallowell, P.T., Seitz, B.A., Moskowitz, R.W.** (2006). Musculoskeletal findings in obese subjects before and after weight loss following bariatric surgery. *International Journal of Obesity*. Vol. 1, pp. 114–120.

Kontaktivaba temperatuurimõõtmise rakendamisvõimalused

H. Linde¹

¹Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energeetika osakond

Abstract. Traditional ways of measuring material surface temperature usually means contact measuring. Using such kind of measurement technique on moving materials could damage the material or could give a false reading, not to mention how complicated the measuring system has to be to measure rapidly moving materials. An alternative to that would be using a non-contact temperature measurement. Industrial infrared temperature sensors still cost a lot compared to other sensors.

Infrared temperature sensor chosen for testing based on termopiles is capable of measuring from 1,16 m distance. To get an accurate reading from known material an emissivity factor has to be correct. In conclusion, it can be said that chosen measuring method proved to be suitable for moving sheet material temperature measurement. The quality of the readings can be evaluated after testing.

Keywords: temperature sensor, infrared, non-contact, sheet material, zone-control.

SISSEJUHATUS

Infrapuna temperatuuri andur kogub infrapuna kiirguse kokku mõõdetavalt objektilt ja tajur mõõdab energia hulka ja see konverteeritakse elektriliseks signaaliks võimendi ja elektroonika abil, mille abil on võimalik juhtida protsessi kontrolleri või väljastada mõõtmistulemused ekraanil.

Selline mõõtmisviis on mõistlik kuumade, liikuvate pindade või raskesti ligipääsetavate tsoonide mõõtmise tarvis, või juhul kui kontaktmõõtmine võib kahjustada mõõdetavat materjali. Näiteks klaasi karastamine, protsess, mille käigus on lihtne kriimustada kontaktmõõtmise teel materjal. Samuti sobilik elektripaigaldistes temperatuuri mõõtmiseks, kuna võimaldab ohutult kauguselt mõõtmisi läbi viia.

Antud juhul on vaatluse all kontaktivaba temperatuurimõõtmine, kuna senised katsed temperatuuri kontaktil põhinevate andurite abil mõõta pole ennast õigustanud. Esialgsest kasutusel olnud PT-1000 anduri sobimatus väljendub suures termaalmassis, mis, kütteahju küttekehade suure võimsuse korral ei võimalda kiiretoimelist reguleerimist, jättes ka mõõdetavasse materjali jälje kontakti korral, kuna anduri kest kuumeneb rohkem infrapuna kiirguse korral, kui materjal ise oma massiivsuse tõttu.

Katsetatud termopaaril põhineva kontrolleri viga seisneb kehvast kontaktis materjaliga, ning ilma materjali kahjustamata pole võimalik täpset mõõtetulemust saada. Samuti tekitab probleeme plastist lehtmaterjali läbivajumine temperatuuri saavutades, seega ei saa mõõtekoht olla fikseeritud asendis vaid peab olema liikuv.

Käesolevas töös on uuritud võimalust temperatuuri kontrollimiseks kontaktivaba mõõtmise teel ning lisaks sellele piiritletud võimalused, mis tulenevad anduri valikust. Tulenevalt taoliste seadmete hinnast, mis lisaks mõõtmisele võimaldavad ka protsessi juhtida otsiti odavamalt alternatiivi taolise mõõtmise läbiviimiseks ja selle põhjal reguleerimiseks.

MATERIAL JA METOODIKA

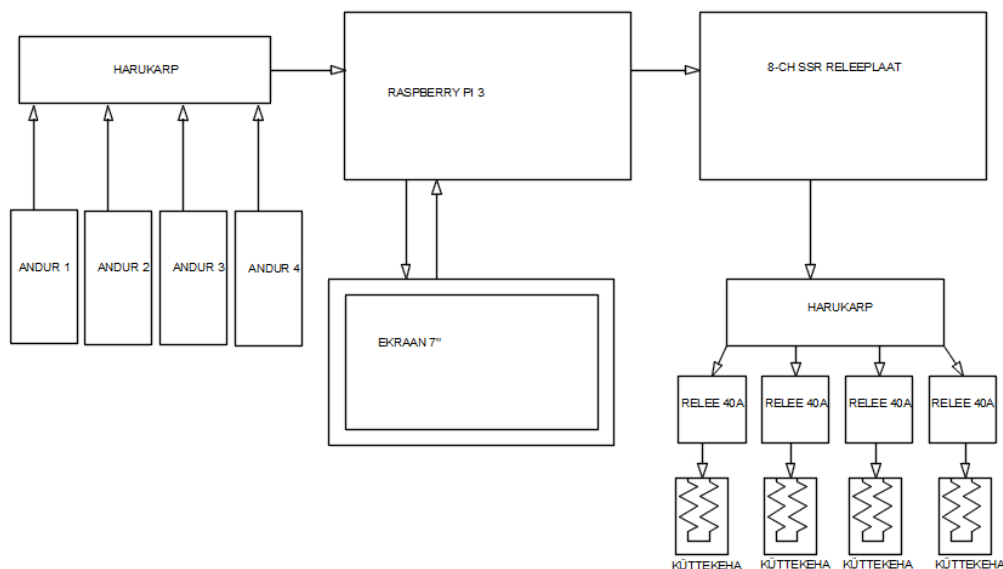
Prototüüp

Prototüübi arendamine on protsess, mis hõlmab endas nii uurimustööd praegusel ajal kasutatavatest lahendustest, kui ka turu-uuringut pakutavatest seadmetest, ning vajadustele vastava lahenduse loomisega.

Tingimused, millele prototüüp pidi vastama on järgnevad:

- 1) Kontaktivaba mõõtmise võimalus.
- 2) Automaatreguleerimine vastavalt temperatuurile.
- 3) Võimalus korrigeerida emissioonitegurit vastavalt materjalile.
- 4) Vähemalt nelja tsooni juhtimise võimalus.

Koostatud prototüübi plokkskeem on esitatud joonisel 1.

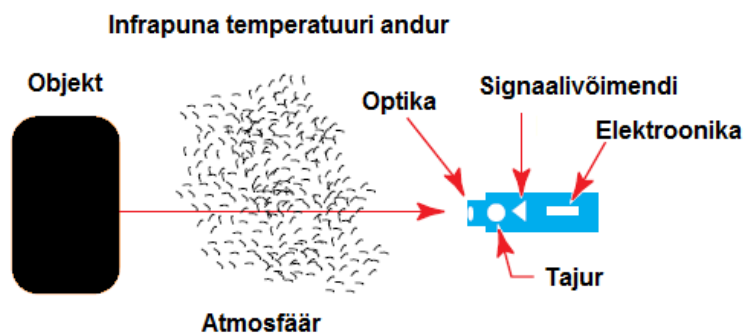


Joonis 1. Prototüüpi plokkskeem

Antud prototüüp loeb kontaktivaba temperatuuri mõõtmise teel lehtmaterjali pinnatemperatuuri, väljastab vastava signaali mõõtetulemusest miniarvutile Raspberry Pi 3, ja väljastab ka tulemuse ekraanil, võimaldades viimase vahendusel juhtida protsessi.

Temperatuurimõõtmine

Joonisel 2 on väljatoodud kontaktivaba temperatuurimõõtmise plokkskeem.



Joonis 2. Kontaktivaba temperatuurimõõtmise plokkskeem. Allikas : [3]

Infrapuna temperatuuriandur koondab kiirguse objektilt lähtuvalt vaateväljast, mis sõltub optikast ja anduri paiknemise asukohast. Infrapuna kiirgus isoleeritakse ja mõõdetakse infrapuna tajurite abil, mis muundavad infrapuna kiirguse elektriliseks signaaliseks, mille saab omakorda vastavate algoritmide abil temperatuuriks teisendada.

Selleks, et andur töötaks soovitud mõõtevahemikus, tuleb andur valida ka vastavalt. Sealjuures on tähtis, et andurile mõjuv temperatuur ei ületaks piirväärtusi, mis toob endaga kaasa anduri riknemise või tunduvalt vähenenud täpsuse. Uuritavad andurid taluvad välistemperatuuri $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ kuni $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ [2]. Uurimustöös vajalik mõõtevahemik jääb 0-380 kraadi vahele, valitud andur suudab mõõta -70 kuni 380 kraadi vahemikus objekti temperatuuri.[2]

Mõõdetav ala, mille pinnatemperatuuri mõõta soovitakse peaks mahtuma anduri vaatevälja. Tavaliselt soovitatakse, et mõõdetav ala ei ületaks 50% anduri vaateväljast.[3] Seda põhjusel, et taustal asetsevad objektid ei mõjutaks mõõtetulemust.

Vaatluse all oleval anduril on see ala 1.16 m kauguselt 10 cm suurune.[2] Andureid paigaldatakse kokku neli, millest igaühe abil on võimalik juhtida küttekehade toimimist.

Andurid

Kasutatavateks anduriteks on valitud kontaktivabad CJMCU-MLX90614ESF-DCI infrapuna temperatuuri andurid. Andurid osutusid valituks just oma hinna ja mõõtekauguse suhte ning lihtsuse tõttu ühenduse loomiseks Raspberry Pi- ga. Andur väljastab 17 bitise digitaalse koodi, kasutades I2C ühenduse protokoll. Anduri välimus on esitatud joonisel 3.



Joonis 3. Kasutatava anduri välimus. Allikas : [4]

Andur suhtleb arvutiga I2C andmeside jadasiini kaudu. Andurit on võimalik ümber programmeerida vastavalt vajadustele, vahetada füüsilist aadressikohta ja seadistada muid parameetreid, mille alusel kuvatakse mõõtetulemusi.

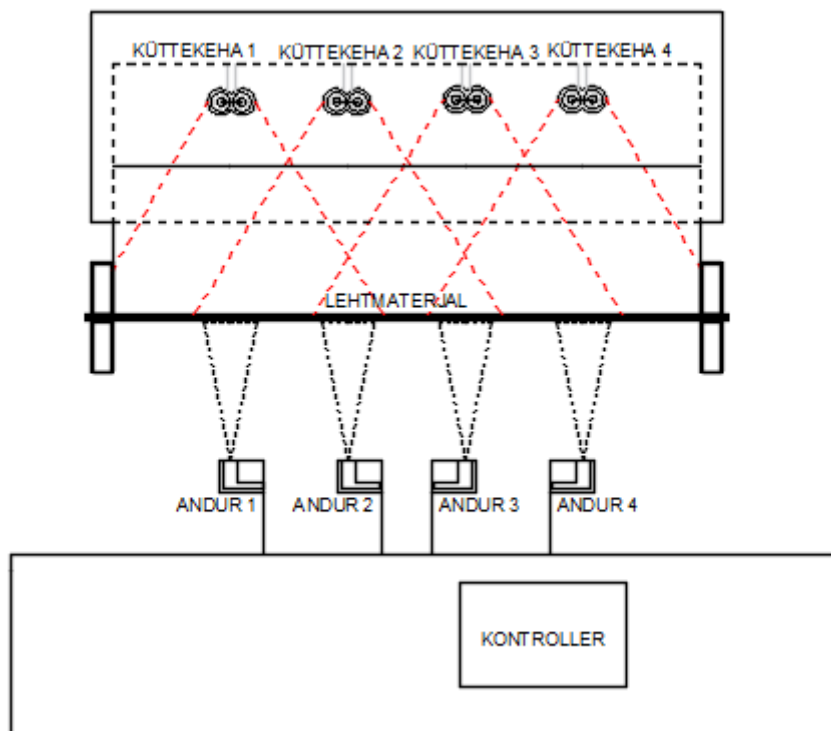
Tabel 2. Anduri MLX90614 parameetrid. Allikas :[2,4]

Parameeter	Väärtus, ühik
Anduri temperatuuritaluvus	$-40\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +125\text{ }^{\circ}\text{C}$
Mõõteobjekti mõõtevahemik	$-70\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +380\text{ }^{\circ}\text{C}$
Mõõtetäpsus	$0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$
Resolutsioon	$0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$
Maksimaalne mõõtekaugus optikal	116 cm
Suurendusvõime	11,6 : 1
Toitepinge	3 – 5 V
Väljastatav vool	13,5 mA
Maksimaalne arv andureid ühenduses	127 tk

Andurite paigutus

Andurite paigalduse juures on arvestatud sellega, et anduritele mõjuv kuumus ei ületaks lubatud piirväärtusi. Kõrvalised esemed ja päikesekiirgus ei mõjutaks mõõtetulemust ning andurid oleks kaitstud füüsilise kontakti eest seadme opereerimisel.

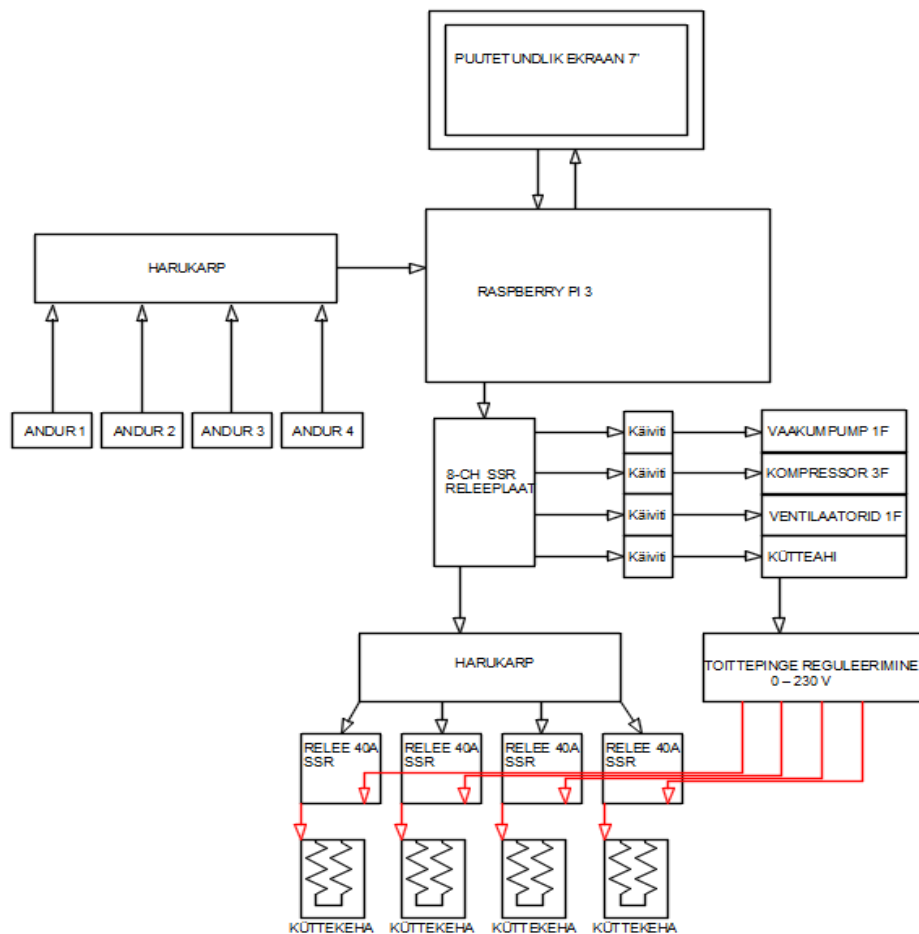
Andurid paigaldatakse esialgse skeemi kohaselt nii, nagu joonisel 4.



Joonis 4. Mõõtmise plokk skeem.

Andurid on kavandatud lehtmaterjali mõõtma altpoolt. Materjali kuumenedes tekib lehtmaterjali vajumine kuni 0,4 m, andurite kaugus peab olema selline, et välistada kontakti sattumine.

Kogu seadme juhtskeem on väljendatud joonisel 5. Kogu süsteemi juhib Raspberry Pi 3 arvuti. Sisestus seadmeteks on puutetundlik ekraan koos loodud graafilise kasutajakeskkonnaga. Ekraanil kuvatakse mõõtetulemus, ning on loodud otseteed lisa seadmete otselülituseks.



Joonis 5. Kogu seadme juhtskeem

Joonisel 5 võib näha lisaks arvutile ja ekranile ka releede juhtplaati ja toitepinge regulaatorit, mille abil on võimalik vähendada küttekehade võimsust protsentuaalselt.

Seda juhul, kui materjali iseärasustest tingituna on vajalik kuumutamine pikema aja jooksul või madala temperatuuri juures, selleks, et vähendada võimalust ülekuumutamiseks. Viimane võib juhtuda ka juhul, kui küttekehad on välja lülitatud, kuid endiselt kiirgavad infrapuna soojuskiirgust.

TULEMUSED JA ARUTELU

Valitud mõõteseadmed on sobilikud vastavaks mõõtmiseks, valitud mõõtelahenduse eelisteks on ohutus, lihtsus ja kasutusmugavus. Mõõtetulemuse täpsus sõltub anduri seadistusest ja paigutusest, täiendavate takistuste esinemisest mõõtmise teel. Andurite hulk on piisav, et juhtida nelja erinevat temperatuuritsooni. Vajadusel saab lisada täiendavalt andureid. Andur tuleks täiendavalt kaitsta välismõjude eest.

JÄRELDUSED

Kontaktivaba temperatuurimõõtmise eelised on peamiselt ohutus, kasutusmugavus, kiire reageerimisvõime. Valitud andurid on sobilikud mõõtmiste teostamiseks vastavas mõõtepiirkonnas. Valitud seadmete abil on võimalik teostada mõõtmisi antud uurimustöö raames kehtestatud tingimustele vastavalt.

KIRJANDUS

[1] J.Hauser, M.Wesolowski, "Theoretical basis and practice application calculation of radiation heat transfer by light design program" (Warsaw) Poznan University of Technology, 2015 [online]. Available: http://www.iee.put.poznan.pl/wydawnictwa/wydawnictwaFiles/2015/23_Computer%20Applications%20in%20Electrical%20Engineering_13/!386_36_Skrzypczak.pdf [Accessed 05.03.2018]

[2] Sparkfun.com, "MLX 90614 family", melexis.com, 2006 [online]. Available: https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/MLX90614_rev001.pdf (Accessed 13.03.2018)

[3] Karen Ackland, "Choosing the right infrared temperature sensor", 1998 [online]. Available: https://www.google.ee/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwiI4ZbYmYjaAhUMb1AKHT_cAfgQFggtMAE&url=https%3A%2F%2Fwww.isa.org%2Fstandards-and-publications%2Fisa-publications%2Fintech-magazine%2Fintech-whitepapers%2Fselecting-right-infrared-temperature-sensor%2F&usg=AOvVaw2YOFYyETKNEI2MYPw19QeU (Accessed 15.03.2018)

[4] Ebay.com, "Anduri pilt", 2018 [online]. Available: <https://www.ebay.com/itm/CJMCU-MLX90614ESF-DCI-Infrared-temperature-sensor-IIC-communication-module-/201402794748> (Accessed 18.03.2018)

E-õppevahendi vajadus tööga seotud luu- ja lihaskonna ülekoormushaiguste ennetamiseks

I. Avi, M. Reinvee

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

Abstract. This paper analyses the need for an e-learning tool for prevention of work-related musculoskeletal disorders in Estonia. There are risk factors present in the working environment that lead to musculoskeletal disorders. The employer must take measures to prevent employee's physical overload. The selection and implementation of preventive measures will be done on the basis of risk assessment and the appropriate measures are often not foreseen. The importance of work environment specialist competency plays significant role in employer prevention activities. Therefore, it is important for work environment specialists and small business managers to have access to relevant information.

Keywords: musculoskeletal disorders; work; risk factors; prevention; e-learning

SISSEJUHATUS

Halb tervis, vaevused ja haigused mõjutavad negatiivselt inimese ja leibkonna majanduslikku heaolu. Haigestumisel on märkimisväärselt negatiivne mõju keskmiselt töötatud tundide arvule ja saadud töötasule ning haiguste tõttu lahkutakse enneaegselt tööturult [1]. Töötukassa analüüsist selgub, et vähenenud töövõimega inimestel kulub töö leidmiseks rohkem aega ning nende keskmine töötasu on üle viiendiku võrra madalam teiste tööle rakendunud töötajate töötasust [2]. Vaevused ja haigestumised ei põhjusta mitte üksnes isiklike kannatusi ja sissetuleku vähenemist, vaid tekitavad kahju Eesti ettevõtetele ja majandusele. 2017. aastal hindas Eesti Töötukassa lihasluukonna- ja sidekoehaiguste tõttu 1700 inimese töövõime puuduvaks ja 10942 inimese töövõime osaliseks. Selliste peamise diagnoosiga otsuste osakaal moodustas 30% töövõime hindamise otsustest. Nende haiguste tõttu on osalise töövõime otsusega 5988 inimest vanuses 25-54 aastat [3].

Luu- ja lihaskonna ülekoormushaiguse väljakujunemine sõltub mitmetest teguritest ning eelkõige tegurite koostmõjust. Kirjanduse ülevaated ja epidemioloogilised uuringud on osutanud, et tööst põhjustatud luu- ja lihaskonna ülekoormushaiguse tekkes võib arvestada nii füsioloogiliste, psühhosotsiaalsete kui ka individuaalsete teguritega [4]–[6]. Haigestumistega tõendatult põhjuslikku seost omavad tegurid on raske füüsiline töö, sama tüüpi liigutuste kordumine, sundasendid, kaalukate raskuste käsitsi teisaldamine, ülekaalulisus, suitsetamine, kõrgete psühhosotsiaalsete nõudmistega töö ja kaasuvad haigused [7]. Enamasti esinevad ülekoormushaigused alaselja, kaela, õla, käsivarre ja käe piirkondades. Vaevused hõlmavad lihaste, kõõluste, sidemete, liigeste, perifeersete närvide ja neid ümbritsevate veresoonte põletikulisi ja degeneratiivseid seisundeid.

Eestis diagnoositakse tööga seotud haigustest enim luulihaskonna- ja sidekoehaigusi [8], [9]. Töötervishoiu ja tööohutuse seaduse kohaselt on tööga seotud haigus kutsehaigus või tööst põhjustatud haigus ning neid diagnoosivad töötervishoiuarstid [10]. Tervisekontrolli käigus hindab arst töötaja tervise seisundit ning selgitab välja võimaliku tööga seotud haigestumise [11]. Kuigi Eestis diagnoositakse tööga seotud haigestumisi järjest vähem, ei saa sellest järeldada töötajate töötingimuste olulist paranemist [8], [9].

Kuna luu- ja lihaskonna vaevuseid ja ülekoormushaiguseid põhjustavad mitmete tegurite koostmõjud, iseloomustab töötajate töövõimelisust ilmekamalt ajutiste töövõimetuslehtede arv. Kui 2015. aastal hüvitati lihasluukonna- ja sidekoehaiguste diagnoosiga töövõimetuslehtesid 47 000 inimesele summas 13 miljonit eurot, siis 2016. aastal hüvitati 51 000 inimesele summas 15 miljonit eurot [12]. Kogu haigushüvitiste diagnoosidest moodustavad lihasluukonna- ja sidekoehaigused neljandiku ning kasv on peamiselt 50-69-aastaste vanusegruppis [12]. Seega luu- ja lihaskonna vaevused põhjustavad suure hulga töötajate ajutise töölt eemalviibimise, mille üheks põhjuseks võib olla töötaja töövõimele mittevastav töökoormus.

Töötajate töökoormus suureneb olukorras, kus ajutiselt eemaloleva töötaja töö teevad ära teised töötajad. Statistikaameti andmetel tegid 2015. aastal 25000 töötajat iga nädal ning 70 000 töötajat kord kuus tööd üle 48 tunni nädalas [13]. Eelduslikult on nendel töötajatel puhkeaeg tööst taastumiseks lühem

erinevalt täistööajaga töötajatest, kes on hõivatud 40 tundi seitsmepäevase ajavahemiku jooksul. Töökeskonna ohuteguritega pikemalt kokku puutuval töötajal on kõrgem risk tööga seotud tervisekahjustust saada.

Võttes arvesse eelpoolkirjeldatud ning vaevuste ja haigestumistega kaasnevad mõju inimestele, ettevõtetele ja ühiskonnale oli töö eesmärk analüüsida e-õppevahendi vajadust ülekoormushaiguste ennetamiseks.

E-ÕPPEVAHENDI VAJADUS TÖÖGA SEOTUD LUU- JA LIHASKONNA ÜLEKOORMUSHAIGUSTE ENNETAMISEKS

Töö käigus mõjutavad töötaja tervist töökeskonna ohutegurid või töö laadid, mis võivad areneda luu- ja lihaskonna ülekoormushaiguseks [5], [7], [9], [14]. 2014-ndal aastal Euroopa Tööohutuse ja Töötervishoiu Agentuuri korraldatud uuringus (ESENER-2) küsitleti 49 320 üle viie töötajaga ettevõtte esindajat. Ohutegurina toodi esile väsitavad või valu tekitavad asendid (56 %), sealhulgas pikaajalise istumise, korduvad käeliigutused (52 %) ning inimeste või kaalukate raskuste teisaldamise (47 %) [15].

Füüsilise ülekoormuse vältimiseks peab tööandja töökoha kujundamisel ja töö korraldamisel arvestama töötaja kehalisi, vaimseid, soolisi ja ealisi iseärasusi, tema töövõime muutumist tööpäeva või vahetuse jooksul ning võimalikku pikaajalist üksinda töötamist [10]. Seadusest tulenev nõue on kooskõlas ka ergonoomika deviisiga “töö tuleb kohandada inimesele” [16]. Selleks tarvilike meetmete valik ja rakendamine toimub töökeskonna riskianalüüsi alusel [10].

Kutsehaigusjuhtumeid uurivate tööinspektorite uurimiskokkuvõtetest selgub sageli asjaolu, et sageli on riskianalüüs jäetud arvestamata töötaja tervisekahjustuseni viinud olulised tegurid [9], mistõttu ei peeta vajalikuks ka tegevusi terviseriski vältimiseks või vähendamiseks.

Tööandja ennetustegevust iseloomustavad tööinspektorite 2017. aasta sihtkontrollid ettevõtetes, kus töötajatel oli diagnoositud tööst põhjustatud haigestumised. Kontrolli tulemustest selgus, et pooltel juhtudel oli vajadus terviseriske uuesti hinnata, sest olemasolevate töötingimustega ei olnud terviseriski kujunemisel arvestatud [9]. Tähelepanu tasub pöörata ka töötervishoiuteenuse osutaja ja tööandja koostööle, sest Tööinspekttsiooni analüüsist nähtub, et 37 protsendil töötajatest areneb tööst põhjustatud haigus kutsehaiguseks [9]. Kui töötajal diagnoositakse tervisekontrolli käigus tööst põhjustatud haigestumine, teeb töötervishoiuarst otsuse töökeskonna või töökorralduse töötajale sobivuse kohta ning esitab nende muutmiseks ettepanekud tööandjale [11]. Ettepanekuid võidakse teha ka tööga seotud haigestumiste mittediagnoosimisel. Töötervishoiuspetsialistiga koostöös on võimalik ettepanekuid ellu viia ja tööd kohandada töötajale sobivaks ning sellega ennetada tööga seotud haigestumisi. Euroopa Liidu riikide ettevõtete kõrval analüüsitakse Eestis vähestes ettevõtetes töötaja töölt eemaloleku põhjuseid ning vähestes rakendatakse tegevusi peale haiguselt naasmist tööga kohanemiseks [15].

Töötervishoiu- ja tööohutusalaste ülesannete täitmiseks volitab tööandja ettevõttesse töökeskonnaspetsialisti, kes peab tundma töötervishoidu ja tööohutust reguleerivaid õigusakte ja ettevõtte töötingimusi, neid jälgima ja kontrollima ning võtma tarvitusele abinõud töökeskonna ohutegurite mõju vähendamiseks [10]. Väikeettevõttes tegeleb töötervishoiu ja tööohutuse küsimustega tihti ettevõtte omanik [17], kes võib ise täita töökeskonnaspetsialisti kohustusi peale töökeskonnaalast koolitust [10]. Töökeskonnaspetsialist peab läbima koolitusasutuses täiendõppeid õigusaktis sätestatud juhtudel ning täiendõppe teemad valib ja õppekava kinnitab koolitusasutus tööandja ja töötajate vajadusest lähtuvalt [18]. Töökeskonnaspetsialisti tööalaste teadmiste ja oskuste arendamine on tööandja ettevõtte huvides. Tööga seotud luu- ja lihaskonna vaevuste ja ülekoormushaiguste ennetustegevustega ei vähendata ainult tervisekahjustuste arvu ja raskust, vaid ka tööjõuvoolavust, töölt puudumisi, ebakvaliteetseid tooteid, mis omakorda suurendavad tööviljakust [19]. Seetõttu on oluline töökeskonnaspetsialistidele ja väikeettevõtete juhtidele võimaldada ligipääs asjakohasele teabele.

Elektrooniliste sidevahendite abil toimuvat õppimisviisi on hinnatud samaväärseks traditsioonilise õppimisviisiga, kus õppimine toimub õpetaja ja õppijaga ühises ruumis [20]–[22]. Mitmesugused e-õppevahendid, sealhulgas heli ja kõnega PowerPoint esitlused või videoloengud ning viited veebilehtedele või simulatsioonidele, saab muuta kättesaadavaks ööpäevaringselt ning võimaldavad pakkuda erinevat stiimulit ja õppe sisu. E-õppevahendiga saab valida sobiva õppimiskiiruse ja järjestuse ning kombineerida teooriat praktilistesse ülesannetesse [23].

JÄRELDUSED

Hoolimata tervisele ohutu töökeskkonna tagamiseks sätestatud tööandja ja töötaja õigustest ja kohustustest ning tööle esitatavatest töötervishoiu ja tööohutuse nõuetest, põhjustavad tööga seotud luu- ja lihaskonna ülekoormushaigused inimestele kannatusi ning viivad töövõime vähenemiseni või puudumiseni. Kui ettevõtte või asutuse töökeskkonnaspetsialist on teadlikum töökohtade, töövahendite kasutamise ja töökorralduse põhjuslikest seostest luu- ja lihaskonna ülekoormushaiguste tekkega ning tunneb ennetusabinõusid ja -tegevusi, saab ta terviseriskide vähendamiseks ja haiguste ennetamiseks oma kohustusi paremini täita. Kuna e-õppevahendile saab luua kerge ligipääsu ning üha rohkem eelistatakse teadmisi saada infotehnoloogiliste vahendite kaudu, on asjakohase sisuga e-õppevahend luu- ja lihaskonna ülekoormushaiguste ennetamiseks vajalik.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Maailma Terviseorganisatsiooni Euroopa Regionaalbüroo, Sotsiaalministeerium, and Poliitikauuringute Keskus PRAXIS, 'Tervise mõju majandusele Eestis', 2006. [Online]. Available: http://www.sm.ee/sites/default/files/content-editors/Ministeerium_kontaktid/Uuringu_ja_analuusid/Sotsiaalvaldkond/tervise_moju_majandusele_eestis_lopparuanne.pdf. [Accessed: 09-Mar-2018].
- [2] Eesti Töötukassa, 'Vähenenud töövõimega töötute tööle rakendumise valdkonnad ja palk võrdluses teiste töötutega. Kvantitatiivanalüüs', 2017. [Online]. Available: https://www.tootukassa.ee/sites/tootukassa.ee/files/tvr_palgaanaluus.pdf. [Accessed: 28-Feb-2018].
- [3] Eesti Töötukassa, 'Töövõime hindamised peamise diagnoosi järgi', 2018. [Online]. Available: <https://www.tootukassa.ee/content/tootukassast/peamised-statistilised-naitajad>. [Accessed: 10-Mar-2018].
- [4] M. P. Nunes, L. Isabel; Bush, 'Work-Related Musculoskeletal Disorders Assessment and Prevention', in *Ergonomics - A Systems Approach*, 2012, p. 232.
- [5] NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health), 'Musculoskeletal disorders and workplace factors; a critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and low back', 1997.
- [6] P. Buckle and J. Devereux, 'Work-related Neck and Upper Limb Musculoskeletal Disorders', *European Agency for Safety and Health at Work*, 1999. [Online]. Available: <https://osha.europa.eu/en/tools-and-publications/publications/reports/201>. [Accessed: 23-Mar-2018].
- [7] B. R. Da Costa and E. R. Vieira, 'Risk Factors for Work - Related Musculoskeletal Disorders : A Systematic Review of Recent Longitudinal Studies', *Am. J. Ind. Med.*, vol. 53, no. 3, pp. 285–323, 2010.
- [8] Terviseamet, 'Kutsehaigestumine ja tööst põhjustatud haigestumine 2016. aastal', 2017. [Online]. Available: http://terviseamet.ee/fileadmin/dok/Tervishoid/tootervis/KH_ja_TPH_statistika_2016.pdf. [Accessed: 09-Mar-2018].
- [9] Tööinspektsioon, 'Töökeskkond 2017', 2018. [Online]. Available: http://www.ti.ee/fileadmin/user_upload/failid/dokumendid/Meedia_ja_statistika/Toeokeskkonna_uelevaated/2015/Tookeskkond_2017_veebi.pdf.
- [10] Riigikogu, 'Töötervishoiu ja tööohutuse seadus', *RT I*, 28.04.2017, 1, 1999. [Online]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/129062014080?leiaKehtiv>. [Accessed: 25-Mar-2018].
- [11] 'Töötajate tervisekontrolli kord', *Sotsiaalministri 24.04.2003 määrus nr 74*. [Online]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/1005703?leiaKehtiv>. [Accessed: 25-Mar-2018].
- [12] Eesti Haigekassa, 'Eesti Haigekassa majandusaasta aruanne 2016', 2017. [Online]. Available: https://www.haigekassa.ee/sites/default/files/uuringud_aruanded/haigekassa_aruanne_2017_web.pdf. [Accessed: 27-Feb-2018].
- [13] Statistikaamet, 'Töötajad töötajate rühma ja üle 48 tunni nädalas töötamise sageduse järgi',

2015. [Online]. Available: <http://andmebaas.stat.ee/Index.aspx?DataSetCode=TKU13>.
- [14] L. Punnett and D. H. Wegman, 'Work-related musculoskeletal disorders: The epidemiologic evidence and the debate', *J. Electromyogr. Kinesiol.*, vol. 14, no. 1, pp. 13–23, 2004.
- [15] European Agency for Safety and Health at Work, *Second European Survey of Enterprises on New and Emerging Risks (ESENER-2). Main findings*. 2015.
- [16] K. H. E. Kroemer and E. Grandjean, *Fitting The Task To The Human, Fifth Edition: A Textbook Of Occupational Ergonomics*. 1997.
- [17] S. Socio Uuringukeskus, 'Töõbik eeluuring', 2015. [Online]. Available: http://www.sm.ee/sites/default/files/content-editors/Ministeerium_kontaktid/Uuringu_ja_analuusid/Toovaldkond/20150324_toobik_eeluuring_raport.pdf. [Accessed: 26-Mar-2018].
- [18] 'Töötervishoiu- ja tööohutusalase väljaõppe ja täiendõppe kord', *Sotsiaalministri määrus 14.12.2000 nr 80*. [Online]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/23105>. [Accessed: 26-Mar-2018].
- [19] R. W. Goggins, P. Spielholz, and G. L. Nothstein, 'Estimating the effectiveness of ergonomics interventions through case studies: Implications for predictive cost-benefit analysis', *J. Safety Res.*, vol. 39, no. 3, pp. 339–44, 2008.
- [20] P. P. George *et al.*, 'Online eLearning for undergraduates in health professions: A systematic review of the impact on knowledge, skills, attitudes and satisfaction', *J. Glob. Health*, vol. 4, no. 1, 2014.
- [21] T. Nguyen, 'The Effectiveness of Online Learning : Beyond No Significant Difference and Future Horizons', *MERLOT J. Online Learn. Teach.*, vol. 11, no. 2, pp. 309–319, 2015.
- [22] A. Voutilainen, T. Saaranen, and M. Sormunen, 'Conventional vs. e-learning in nursing education: A systematic review and meta-analysis', *Nurse Educ. Today*, vol. 50, pp. 97–103, 2017.
- [23] M. W. N. Eugenia, *Comparative Blended Learning Practices and Environments*. 2010.

Terviseriskid, skeleti-lihassüsteemi vaevused ja töövõime naiskassapidajatel

Health risks, musculoskeletal discomfort and work ability in female cashiers

K. Kallion¹, T. Sirge¹

¹Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

Abstract. The working conditions of supermarket cashiers have not garnered much attention and there have not been made significant efforts to reduce cashier health problems. Cashiers work long hours in a sitting position and are therefore at risk for developing various musculoskeletal complaints. The aim of the present study was to analyze female cashier's health risks, musculoskeletal discomfort and work ability.

The subjects of the study were Estonian supermarket cashiers (n=76), with mean age (\pm SD) of 41.6 ± 15.0 and body mass index (\pm SD) 25.4 ± 0.6 kg/m². All of the participating cashiers were female. In this study were used the standardized *Nordic Questionnaire* that helped to ascertain the complaints of the cashiers in six different regions of the body during the last six months and during the last seven days. Work ability was assessed by standardized questionnaire (Finnish institute of Occupational Health), with calculation of work ability index (WAI). Health risks were assessed by self-administrated questionnaire. The collected data was processed and analysed using *Microsoft Excel 2010*.

The results of this study indicated that 85.8% of subjects reported experiencing discomfort at least in one body area. Musculoskeletal symptoms in the last 6 months were localized primarily in the lower back and neck regions (60.5% and 50.0%, respectively) and in the last 7 days also in the lower back (34.2%) and equally in the neck and wrist (32.9%).

Work ability index was $36.18 \pm$ SD 4.46 and 50% of cashiers rated their work ability „good“.

All cashiers should pay attention to their health and working environment. They should establish that their workstation is designed ergonomically and meets their requirements and special needs.

Key words: musculoskeletal symptoms, female supermarket cashier, work ability, health risks

SISSEJUHATUS

Pikka aega istuvas asendis töötamist nimetatakse sundasendiks. On selge, et sundasendis töötamine pikka aega võib tekitada skeleti-lihassüsteemi vaevusi [1]. Terminit "skeleti-lihassüsteemi vaevused" kasutatakse tavapäraselt siis, kui inimesel esineb meditsiinilisi kõrvalekaldeid luude- ja liigeste tavapärasest seisundist. See võib hõlmata nii lihaseid, kõõluseid, liigeseid, närve kui ka veresooni. Viimase 20 aasta jooksul on rohkem huvi hakanud pakkuma töötervishoiuga tegelevatele asutustele just skeleti-lihassüsteemi vaevused, kuna on leitud, et skeleti-lihassüsteemi vaevused on üks peamistest põhjustest, miks töötajatele määratakse puue või kutsehaigus [5]. Teenindus- ja müügisektor omab teist kohta kutsehaiguste esinemisel Eestis. Kassapidajad töötavad kassades pikki päevi ning enamasti istuvas tööasendis ja just sellepärast on töötajad ohustatud erinevatest skeleti-lihassüsteemi vaevustest [1]. On leitud, et skeleti-lihassüsteemi vaevused esinevad kõige rohkem naissoost töötajate seas [4]. Erinevad uuringud on näidanud, et erinevad selja probleemid on väga levinud töötava elanikkonna hulgas ning sellel probleemil on suur mõju nende majanduslikule ja sotsiaalsele staatusele. Washingtoni riiklikus tervisekindlusametites tehtud uuringus aastatel 1997 -2005 selgus, et kõige enam (51%) oli esitatud kindlustusnõudeid tööga skeleti-lihassüsteemi vaevustele just seljaga seotud probleemide osas [3]. Näiteks moodustavad skeleti-lihassüsteemi vaevused kaks kolmandikku kõikidest tööga seotud häiretest Prantsusmaal [5].

Uuringutest on selgunud, et kassapidajatel on vaevusi kõige enam kaelas, õlgades, kätes ja seljas. Aastal 2014 Eestis läbiviidud uuringus selgus, et kassapidajatel esineb valu- ja ebamugavustunnet kõige enam kaela (67,2%)- ja õlavöötme (53,7) piirkonnas [1]. Arvestades kassapidajate töötingumusi võivad neil tekkida erinevaid tervise vaevusi nagu näiteks alajäsemete lihaste väsimine, tursed alajäsemetes ja

veenilaiendid, valud alajäsemetes, seljalihaste väsimine, lihasingete tekkimine. Kaela- ja õlavöötme lihaste staatiline lihaspinge võib põhjustada lihas- ja närvivalusid.

Kassapidajad töötavad pikki tunde, tehes intensiivset tööd, mistõttu on äärmiselt oluline pöörata tähelepanu erinevatele terviseriskidele, mis võivad esineda antud tööga. Uurimistöö eesmärgiks on välja selgitada Eesti naiskassapidajate peamised terviseriskid, skeleti-lihassüsteemi vaevuste levimus ning töövõime.

MATERIAL JA METOODIKA

Uuringu läbiviimiseks valiti sihtgrupp kassapidajate seast, kes töötavad suuremates supermarketites Eestis. Uuritavateks olid 76 naissoost kassapidajat. Uuringus osalesid kassapidajad vanuses 18 - 78 aastat. Uuritavatest 74 (97%) olid paremakäelised. Kassapidajate keskmised antropomeetrilised näitajad on esitatud tabelis 1.

Tabel 1. Kassapidajate keskmised antropomeetrilised näitajad (n=76)

Figure 1. *Cashier's intermediate anthropometrical indicators (n=76)*

Näitaja	Keskmine \pm SD
Vanus (a)	41,6 \pm 15,0
Pikkus (cm)	1,67 \pm 5,4
Kaal (kg)	70,6 \pm 14,9
Kehamassiindeks (kg m ²)	25,4 \pm 0,6
Tööstaaž kassapidajana (a)	6,9 \pm 7,8
Töötunnid päevas	9,1 \pm 2,6
Töötunnid nädalas	36,9 \pm 8,7

Uuritavad osalesid antud uuringus vabatahtlikult ning uuritavate valik oli juhuslik. Uuringu läbiviimiseks saadi nõusolek poodide juhatajatelt ning uuring on saanud heakskiidu Tartu Ülikooli eetikakomiteelt (luba nr 270/T-12). Enne uuringu läbiviimist saadi igalt uuritavalt kirjalik allkirjastatud nõusolek.

Küsimustik. Uuringu läbiviimiseks kasutati erinevaid ankeetküsimustikke- *Nordic Questionnaire* , *Work Ability Index Questionnaire* ning üldankeeti- ja isikuandmete lehte.

Nordic Questionnaire küsimustik annab ülevaate töötaja lihasvaevuste esinemise kohta kuues erinevas kehapiirkonnas viimase kuue kuu- ja seitsme päeva jooksul ning annab hinnangu töötaja üldlase tervises seisundi kohta.

Soome Töötervishoiu Instituudi poolt välja töötatud küsimustiku *Work Ability Index Questionnaire* 'i abil määratakse töövõime indeks. Arvutatud töövõime indeksi väärtused jagunevad nelja gruppi, madal (7-27), keskmine (28-36), hea (37-43), suurepärase (44-49). Üldankeedis on organisatoorsed küsimused ja küsimused kassapidajate terviseriskide kohta. Küsimustike täitmiseks kulus keskmiselt aega 20-30 minutit ning töötajad täitsid küsimustikke kodus.

Statistiline analüüs. Töös saadud andmeid analüüsiti ning töödeldi programmiga *Microsoft Excel 2010*. Saadud tulemustest on arvutatud tegurite protsendid, keskmised väärtused ning standardhälbed (SD). Aritmeetiliste keskmiste erinevuse olulisuse hindamiseks kasutati *Studenti* paaride t-Testi ning statistilise olulisuse piiriks võeti $p \leq 0,05$.

TULEMUSED JA ARUTELU

Uuringus jagati kokku ankeete 113-le kassapidajale, millest tagasi laekus 76 ankeeti (vastamismäär 67,3%). Uuringus osalenud kassapidajatest töötasid enamus terve tööpäev kassas. Nende keskmine tööpäeva pikkus oli 9,1 \pm 2,6 h ja nädalas töötasid nad keskmiselt 36,9 \pm 8,7 tundi. Vastanud kassapidajatest töötas 19,7% rohkem kui 40 tundi nädalas. Kõik vastanutest olid naised (vahemikus 19

– 69 aastat), keskmise vanusega $41,6 \pm 15,0$ aastat. Kassapidajatest 41% olid töötanud kassapidajana rohkem kui 5 aastat, 39% kassapidajatest oli töötanud 1 kuni 5 aastat kassapidajana ning 20% vastanud kassapidajatest oli töötanud antud ametis vähem kui 1 aasta.

Kõigist vastanutest 85,8% olid vastanud, et on tundnud ebamugavust või valu vähemalt ühes kehapiirkonnas viimase 6 kuu jooksul ja viimase 7 päeva jooksul on ebamugavust või valu tundnud vähemalt ühes kehapiirkonnas 69,9% vastanutest (tabel 2).

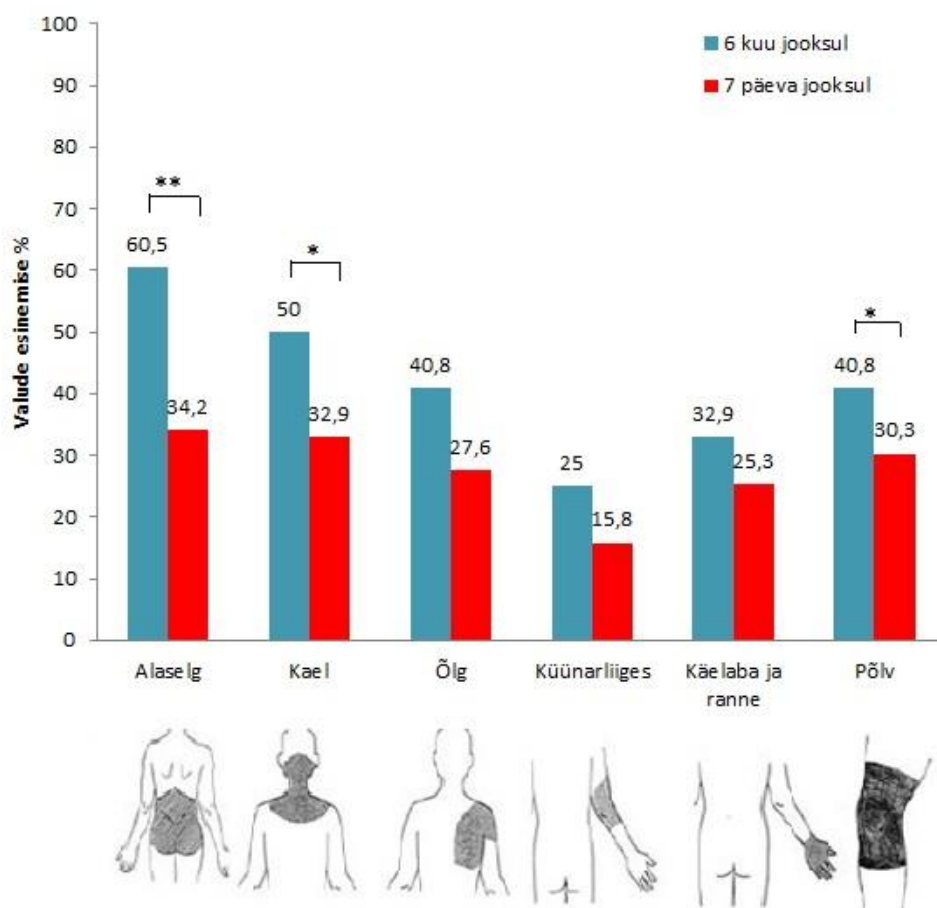
Tabel 2. Valude esinemine erinevates kehapiirkondades viimase 6 kuu ja 7 päeva jooksul (n=76)

Figure 2. The number of body sites with musculoskeletal pain in the last 6 months and last 7 days (n = 67)

Mitmes kehapiirkonnas valu esines	Viimased 6 kuud (%)	Viimased 7 päeva (%)
0	14,2	30,1
1	10,4	13,0
2	19,4	19,5
3	22,9	22,5
4	19,7	9,8
5	7,6	1,2
6	5,8	3,9

Ligikaudu 76,4% vastanutest on tundnud skeleti-lihassüsteemi vaevuseid kahes või enamas kehapiirkonnas viimase 6 kuu jooksul ja 56,9% vastanutest viimase 7 päeva jooksul. Uuritavatel esines viimase 6 kuu ja 7 päeva jooksul valusid kõige rohkem kolmes erinevas kehapiirkonnas (22,9% ja 22,5%).

Jooniselt 1 on näha, et viimase 6 kuu jooksul esines uuritavatel kõige enam vaevuseid alaselja piirkonnas (60,5%; $p < 0,01$) ja kaela piirkonnas (50,0%; $p < 0,05$), samad kehapiirkonnad valmistasid kõige rohkem vaevuseid ka viimase seitsme päeva jooksul (34,2% ja 32,9%). Valu ja ebamugavus tunde üle õlgade piirkonnas kurtis viimase 6 kuu jooksul 40,8% vastanutest ning viimase 7 päeva jooksul 27,6%. Ebamugavustunde ja valu kohta põlvedes märkis ära uuritavatest viimase 6 kuu jooksul 40,8% ning viimase 7 päeva jooksul 30,3% uuritavatest ($p < 0,05$). Statistiliselt olulised erinevused esinesid veel alaselja ($p < 0,001$) ja kaela ($p < 0,05$) piirkonnas viimase 6 kuu ja 7 päeva valude osas. Suurem ebamugavustunne esines kassapidajatel viimase 6 kuu lõikes kõikides kehapiirkondades võrreldes viimase 7 päevaga. Kõige väiksem valude esinemispiirkond viimase 6 kuu ja 7 päeva jooksul oli käelaba, randme ja küünarliigese piirkonnas.

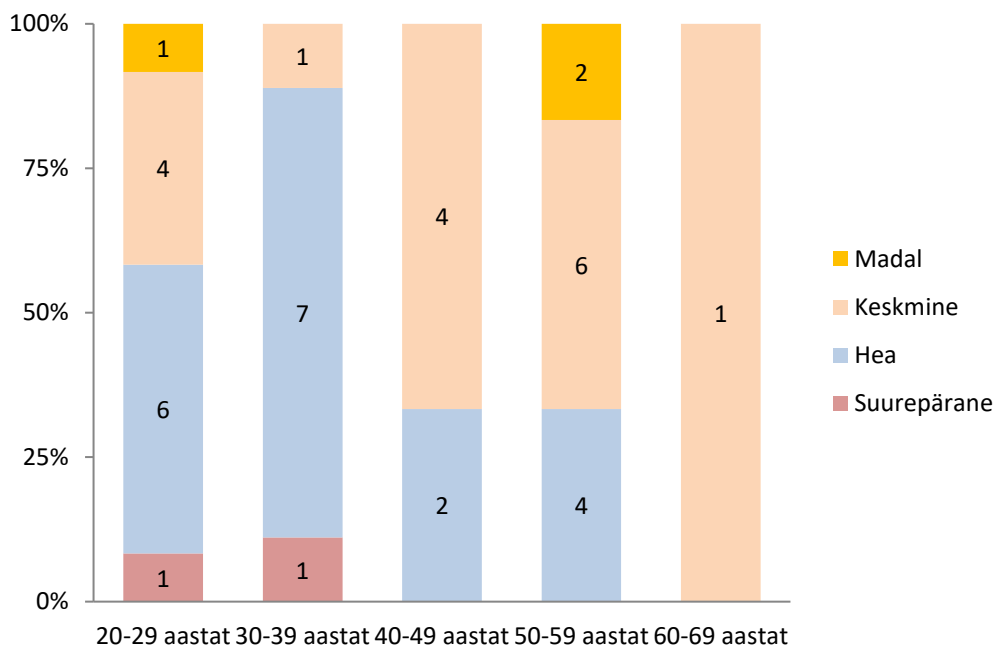


Joonis 2. Skeleti-lihassüsteemi valude esinemine erinevates kehapiirkondades viimase 6 kuu ja 7 päeva jooksul (n=76); (* $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$)

Figure 1. Prevalence (%) of musculoskeletal discomfort and pain in different body regions in the last 6 months and 7 days (n = 67);(* $p < 0.05$; ** $p < 0.001$)

Uuritavatest tundis 84,2%, et peab tööl olles kiirustama. Füüsilist väsimust peale tööpäeva tundis uuritavatest 93,4% ning 75% tundis, et on peale tööpäeva vaimselt väsinud. Oma tööga on rahul 78,9% uuritavatest ning 48,7% peab enda tööd monotoonseks ja üksluiseks.

Töövõime hindamiseks kasutati WAI küsimustikku (joonis 2).



Joonis 3. Töövõime kategooriate jaotus vanusegruppides (%) Eesti kassapidajatel, (n=40)

Figure 2. The classification of work ability among a Estonian cashier's, (n=40)

Uuritavatest 50% hindab enda töövõimet „heaks“, 39,5% hindab enda töövõimet „keskmiseks“, 7,9% arvab, et nende töövõime on „madal“ ning ainult 2,6% töötajatest arvab, et nende töövõime on „suurepärane“. Uuritavate keskmine töövõime WAI alusel oli „hea“ (skoor \pm SD: 37,18 \pm 4,46). Lisaks selgus tulemustest, et töötajad, kes on oma tööga rahul, neil on suurem töövõime, kui neil, kes ei ole oma tööga rahul ($p=0,014$).

JÄRELDUSED

Uuringust selgus, et kassapidajatel esineb skeleti-lihasvalusid kõige enam alaseljas, kaelas, õlgades ja põlvedes. Suur osa kassapidajatest on peale tööd vaimset ja füüsiliselt väsinud. Samuti selgus, et nende töö on monotoonne ja üksluine, kuid samas olid uuritavad enamasti oma tööga rahul. Kassapidajate töövõime on pooltel „hea“. Vältimaks skeleti-lihasvaevuseid, et säilitada parem töövõime, on oluline jälgida puhkepause, töökoha ergonoomikat ning kehalist aktiivsust.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. **Sirge, T., Ereline, J., Kums, T., Gapeyeva, H., Pääsuke, M.** (2014). Musculoskeletal symptoms, and perceived fatigue and work characteristics in supermarket cashiers
2. **Violante, F.,** Graziosi, F., Bonfiglioli, R., Curti, S. (2005). Relations between occupational, psychosocial and individual factors and three different categories of back disorders among supermarket workers. *Occupational Health*. Vol 78, pp 613-624
3. **Widanarko, B., Legg, S., Stevenson, M., Devereux, J., Eng, A.** (2011). Prevalence and work-related risk factors for reduced activities and absenteeism due to low back symptoms. *Applied Ergonomics*. Vol 43, pp 727-737
4. **Widanarko, B., Legg, S., Stevenson, M., Devereux, J., Eng, A.** (2012). Gender differences in work-related risk factors associated with low back symptoms. *Ergonomics*. Vol 55, pp 327-342
5. **Aptel, M., Aublet-Cuvelier, A. Cnockaert, J.** (2002). Work-related musculoskeletal disorders of the upper limb. *Joint Bone Spine*. Vol 69, pp 546-555

Päikesepaneelide hinnadünaamika

K. Kangro, A. Allik, A. Annuk

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energeetika osakond

Abstract. With the ever rising growth of the human population, the demand for energy is going to keep rising as well. It is needed to find better and more sustainable solutions to fulfil that demand. The more sustainable option has not always been the most affordable one, but looking at the nowadays trends, then we can see that renewable energy is getting more competitive to other means of energy. This article will give an overview of solar panel cost dynamics and about its affordability if it would be used as a façade material instead of the regular options.

Key words: PV panels, renewable energy, efficiency, cost dynamics

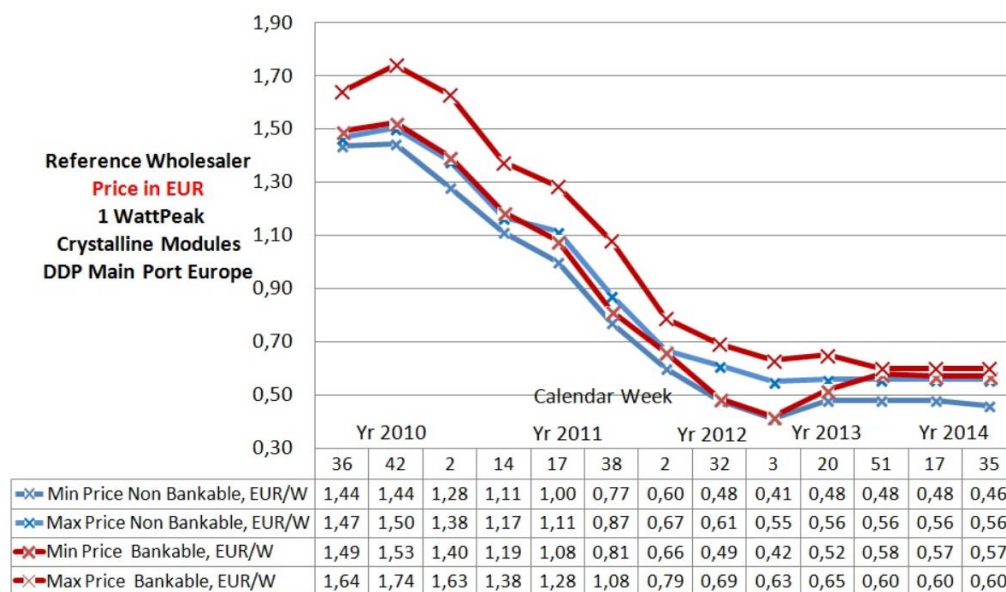
SISSEJUHATUS

Päikesepaneelid on konstrueeritud, et muundada päikeseenergia elektrienergiaks. Tingitud asjaolust, et energia nõudlus on tänapäeva maailmas väga suur, siis on vaja võtta kasutusele jätkusuutlikke meetmeid elektri tootmiseks. Aastatel 1990 kuni 2013 on kasvanud energia tarbimine 54%, mis on 36% rohkem võrreldes sama perioodi rahvastikukasvuga. Enamus sellest nõudluse suurenemisest tuleneb arengumaadest [1].

Elektri tootmist päikese paneelidega peetakse paljudes riikides üheks kõige konkurentsivõimelisemaks elektritootmis viisiks võrreldes tavapäraste meetoditega. Aastal 2016 kasvas aastane päikeseenergia turg 50%, ehk 75 GW, mis tõstis ülemaailmse kogumäära 303 GW-ni. Suurim panus, täpsemalt 85%, oli siin riikidel, kes on maailmas esirinnas päikeseelektri kasutamises nagu näiteks Hiina, Saksamaa, Jaapan. Vaatamata suurele nõudluse kasvule, on PV paneelide hinnad olnud mitu kümnendit languses, aga eriti järsud langused on toimunud lähiminevikus [2]. Suur hinnalangus püstitab küsimuse, kas päikesepaneelide paigaldamine oleks majanduslikult otstarbekas ka seintele? Artikkel annab ülevaate PV paneelide hinnadünaamika kohta ja kui konkurentsivõimeline see on hetkel võrreldes tavaliste fassaadikattematerjalidega.

MATERIAL JA METOODIKA

Fotogalvaaniliste elementide tootmismahud on jõudsalt kasvanud, millele on kaasa aidanud tootmistehnoloogia areng. Hetkel on suur osa installeeritud päikesepaneelidest valmistatud kristallilise räni baasil [3]. Kristallilise räni moodulite areng peegeldub ka nende tootmishinnas. Hinnad on jõudsalt langenud ning see trend jätkub siiaani. Joonisel 1 on väljatoodud kristallilise räni moodulite hinnadünaamika võimsusühiku kohta aastatel 2010-2014.



Joonis 1. Kristall-räni moodultie hinnadünaamika aastatel 2010-2014 [4]

Figure 1. Cost dynamics of crystalline-silicon modules 2010-2014 [4]

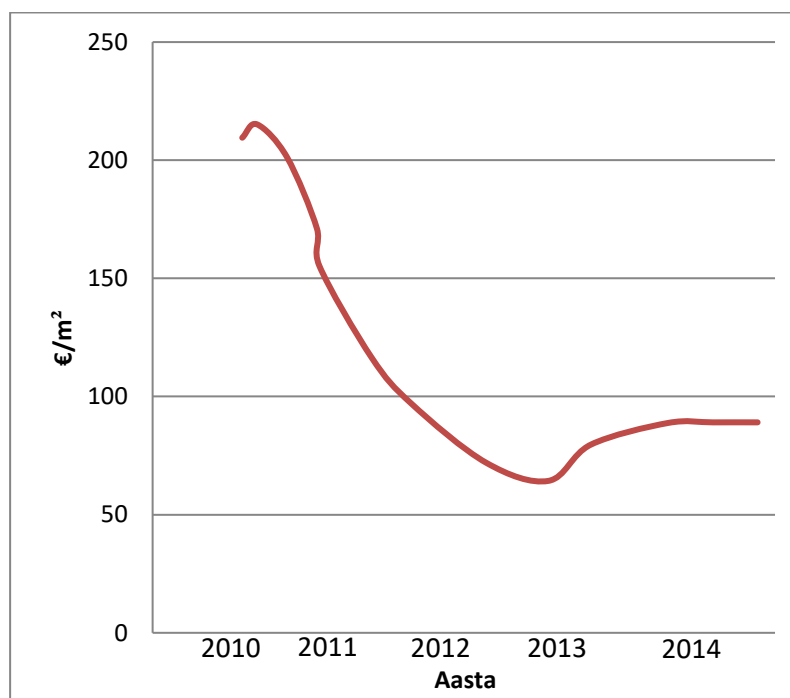
Jooniselt 1 on näha, et hind on langenud vahemikul 2010-2014 enam kui 2 korda. Kui aastal 2010 oli hind veel umbes 1,49 eur/Wp, siis aastaks 2014 oli see langenud 0,57 eur/Wp.

Tehnoloogia arenguga on suudetud päikesepaneelide efektiivsust ja võimsust pindalaühiku kohta tõsta ja sealjuures nende hinda langetada. Tabelis 1 on välja toodud päikesepaneelide keskmised võimsused perioodil 2010-2014.

Tabel 1. Standardmõõdus (1,6 m²) päikesepaneelide keskmised võimsused aastatel 2010-2014 [4]Table 1. Average power outputs of standard size (1,6 m²) solar panels in 2010-2014 [4]

Aasta	Võimsus, W	Võimsus 1 m ² kohta, W
2010	225	140,62
2011	230	143,75
2012	235	146,88
2013	245	153,13
2014	250	156,25

Tabeli teises tulbas on välja toodud standardsete ehk 1,6 m² päikesepaneelide keskmised võimsused aastatel 2010-2014 ning kolmandas on need võimsused teisendatud 1 m² kohta. Teades paneelides võimsuseid ruutmeetri kohta ning nende hinnadünaamikat samal perioodil on võimalik teada saada nende hinnad ruutmeetri kohta.



Joonis 3. Päikesepaneelide hind aastatel 2010-2014 ruutmeetri kohta
Figure 3. The price of solar panels by square metre in 2010-2014

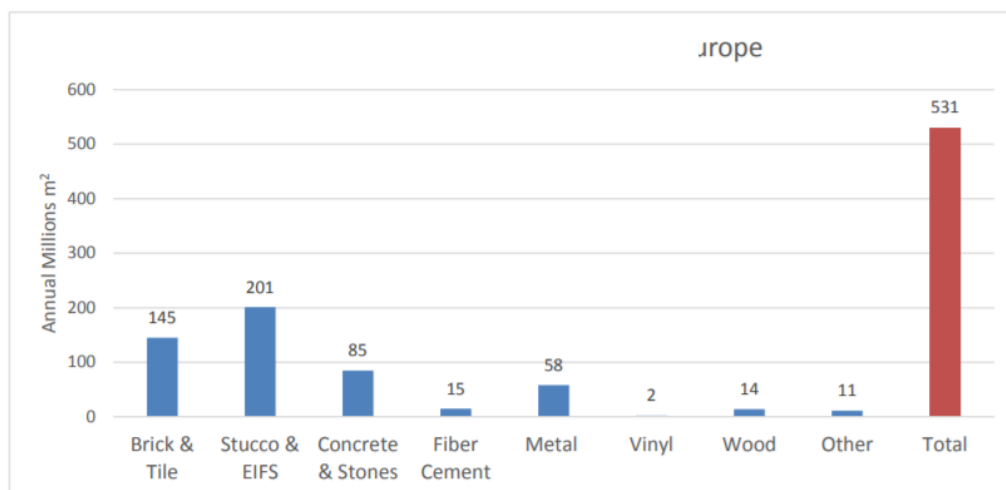
Jooniselt 3 on näha, et hinnad ruutmeetri kohta on vaadeldaval perioodil märgatavalt langenud.

TULEMUSED JA ARUTELU

Euroopa Liidu Energiatõhususe Direktiiv näeb ette, et selle liikmesriigid, kaasaarvatud Eesti, peavad järgima uute ja oluliselt rekonstrueeritavate hoonete osas energiatõhususe nõudeid. Aastast 2021 peavad kõik uusehitised olema liginullenergiahooned. Sealjuures peavad täitma neid nõudeid riigiasutuste kuuluvad ja kasutatavad uusehitised aastast 2018 [5].

Nõutud energiatõhususarvu saavutamiseks on hoonete ehitamisel vaja kasutada parimat ehituspraktika meetmeid ning ära kasutada taastuvenegiatehnoloogia lahendusi. Parima energiatõhususe saavutamine viib ülesse hoonete maksumused. Seetõttu on maksimaalselt vaja ära kasutada taastuvenegiatehnoloogiast saadav energia. Päikeseenergiat on maksimaalselt võimalik ära kasutada integreerides päikesepaneeli hoonete fassaadi ja katustesse. Seoses päikesepaneelide hindade langusega muutuvad nad üha enam konkurentsivõimelisemad võrreldes tavaliste fassaadikattematerjalidega.

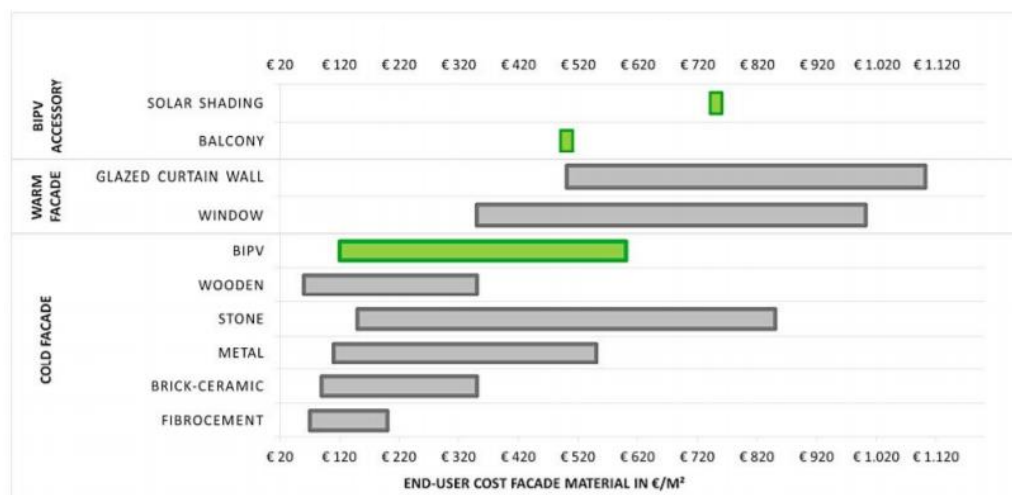
Tänapäeval on saadaval väga palju erinevaid fassaadikattematerjale, odavamaid ja kallamaid. Hinnad võivad varieeruda 30 eurot ruutmeetri kohta (näiteks kiudtsement) kuni 1100 euronit ruutmeetri kohta (*curtain wall*). Samamoodi võib leida hinna suhtes erinevaid lahendusi päikesepaneelide juures kasutades neid fassaadikattematerjalina. Hinnad algavad 130 €/m² juures, kasutades madala efektiivsusega õhukesekihilisi päikesepaneeli ja küündivad 750 €/m² kõrgekvaliteediliste süsteemide puhul [6].



Joonis 2. Fassaadikattematerjalide jagunemine euroopas aastal 2014 [6]

Figure 2. Cladding material segmentation in Europe in 2014 [6]

Joonisel 2 on näha, et fassaadikattematerjali turu suurus aastal 2014 Euroopas oli 531 miljonit m². See arv näitab potentsiaalset pinda, mida oleks võimalik ära kasutada, et toota päikeseenergiast elektrit.



Joonis 3. Fassaadikattematerjalide hinnad lõpptarbijale, €/m² [6]

Figure 2. End-user cost facade material in €/m² [6]

Joonisel 3 on välja toodud võrdluseks enamlevinute fassaadikattematerjalide ja integreeritud päikesepaneelide hinnad lõpptarbijale. On näha, et tavaliste fassaadide ja integreeritud päikesepaneelidega fassaadide hinnad ei erine enam väga palju, mis on tingitud pidevast tehnoloogia arengust ja hindade langusest. Siin tuleb aga silmas pidada ka seda, et tavaliste materjalide puhul on nende tasuvus null. Arvestades, et päikesepaneelide eluiga on umbes 30 aastat, siis suure tõenäosusega tasub see algne suurem investeering end ära.

JÄRELDUSED

Päikeseenergia kasutamine elektri tootmis eesmärgil on iga aastaga üha enam oma kanda kinnitamas. Hetkeseisuga on päikesepaneelid küll veel võrdlemisi ebaefektiivsed, küündides parematel juhtudel 20% efektiivsustegurini, kuid tehnoloogia on pidevas arengus. Sellest tingituna liiguvad efektiivsus näitajad üles poole ja hinnad võimsusühiku kohta alla poole, samal ajal on aga kergelt tõusnud hinnad pindalaühiku kohta. Tehnoloogia odavnemine muudab selle rohkem kättesaadavamaks tavakasutajale ning annab võimaluse kasutada seda laiemas mahu, nagu näiteks kasutada päikesepaneeli fassaadikattematerjalina.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. Tabary, M. Sustainable development and the demand for energy. [online]. <https://blogs.worldbank.org/opendata/sustainable-development-and-demand-energy> (23.03.2018)
2. Renewables 2017 global status report. Renewable Energy Policy network for the 21st century. [online]. http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/06/17-8399_GSR_2017_Full_Report_0621_Opt.pdf (23.03.2018).
3. Mahlapuu, M. 2014. Päikeseelektrijaama toodangu simulatsioon ja majanduslik analüüs linnatingimustes asuvatel hoonetel. Magistritöö. Tallinn.
4. Price trend PV modules. A-E-S Europe GmbH. [online]. https://www.europe-solar.de/catalog/index.php?main_page=page_3 (23.03.2018)
5. Hoonete energiatõhusus. Energiatalgud. [online]. https://energiatalgud.ee/index.php?title=Hoonete_energiat%C3%B5husus (25.03.2018)
6. BIPV market and stakeholder analysis and needs. PVsites. [online]. <http://www.pvsites.eu/downloads/download/report-bipv-market-and-stakeholder-analysis-and-ne> (25.03.2018)

Skeleti-lihaskonna vaevuste esinemine loomaarstide ja loomaarstide abiliste seas

K. Kattai, E. Merisalu

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

Abstract. The aim of this study was to investigate prevalence and risk factors of work-related musculoskeletal among veterinarians and veterinarian assistants. The anonymous e-questionnaire was sent to the veterinarians and assistants to analyse job related risk factors and musculoskeletal problems of different body parts during the past 12 months and in the past month. The questionnaire used validated questionnaires. The data were analysed using descriptive statistics, Chi-square test, Mann-Whitney U test and Spearman correlation. The sample consisted of 24 veterinarians and assistants. The average age of the study group was 33,8 ($\pm 7,3$) years and average working hours per week was 44 (± 7). Data analysis showed that 91% of participants had one or more MSDs symptoms during the previous year. Lower back (75%) neck (71%) and knee (58%) pain was the more frequent reported complaint. It is statistically significant that lower back pain ($p < 0,05$) and neck pain ($p = 0,047$) are observed more in veterinarians and assistants who lifting loads. Workload (the number of hours per week) was in positive correlation with pain in wrist and hand ($r = 0,411$; $p < 0,05$). Prolonged standing was in positive correlation with pain in elbow ($r = 0,747$; $p < 0,01$). The study showed that MSDs are the common problems among the veterinarians and assistants and they are at risk because of their personal and occupational conditions.

Keywords: musculoskeletal disorders, veterinarians, veterinarian assistant, risk factors

SISSEJUHATUS

Ülekoormusvigastused on Euroopas üheks sagedasemaks põhjuseks töövõimetusele [1]. Alaseljavalu on üks levinumaid tööga seotud terviseprobleeme, mis on seotud suurte kulutustega haiguspäevade kompensatsiooniks ja töövõime kaotanud töötajate kohandamiseks tööle [2,3]. Tööga seotud skeleti-lihaskonna vaevused (SLV) hõlmavad närvide, kõõluste, lihaste, sidemete kumulatiivseid kehastruktuuride traumasid, mis on seotud püsivast sundasendist ja korduvliigutustest, samuti võivad seda võimendada psühhosotsiaalsed tegurid ning töötaja individuaalsed tegurid (sugu, vanus, varasemad haigused, kehaline võimekus, ülekaalulisus, suitsetamine) [4].

Loomaarstid ja -abilised puutuvad oma igapäeva töös kokku mitmesuguste ohtudega, milleks võivad olla loomade poolt tekitatud kriimustused, hammustused, süstlatorkevigastused, nakkushaigused, raskuste tõstmistest tulenevad rebendid, kiiritus, anesteesiagaasid ja muud kemikaalid [5,6]. Lisaks on suur oht SLVle, mis tulenevad füüsilisest töökoormusest, ebamugavast tööasendist, pikaajalisest staatilisest ja istuvast asendist ning korduvatest tööliigutustest [7].

Veterinaarkirurgide seas ($n = 667$) läbiviidud uuring näitas, et 63% vastanutest esines enam SLVsid ajaseljas (57%), kaelas (52%) ja ülaseljas (34%) viimase 12 kuu jooksul. Korrelatsioonanalüüs näitas olulisi erinevusi SLVde ja erinevate psühhosotsiaalsete tegurite vahel, milleks oli ajasurve, klientide suhtumine, vähene tunnustus juhtkonna, töökaaslaste ja perekonna poolt ning tööstress, mis tulenes ebapiisavast puhkusest. [8] Ka Iraani kirurgide hulgas ($n = 45$) läbiviidud uuring näitas, et 95% töötajatest esines viimase 12 kuu jooksul SLV-sid vähemalt ühes kehapiirkonnas, millest enam kaelas (67%) ja alaseljas (51%). Kirurgidel, kellel pole piisavalt aega puhkepauside tegemiseks kannatavad oluliselt enam kaela ($p = 0,03$) ja põlve ($p = 0,02$) vaevuste käes. [9]

Uuringu eesmärgiks oli välja selgitada skeleti-lihaskonna vaevuste levimus ja analüüsida seoseid loomaarstide ja -abiliste skeleti-lihasvaevuste ja tööst tulenevate riskide vahel.

MATERIAL JA METOODIKA

Uuritavaks asutuseks oli üks Kesk-Eesti loomakliinik. Uuringu läbiviimiseks võeti esmalt ühendust asutuse juhatajaga, kellele tutvustati uuringu eesmärki, metoodikat ja teostavate tegevuste ajaplaani. Uuringu läbiviimiseks on saadud luba Tartu Ülikooli inimuuringu eetika komiteelt.

Ankeetküsimustik koostati veebipõhises *Google Drive* keskkonnas ning saadeti väljavalitud loomakliiniku loomaarstidele ja abilistele. Uuringu ankeetküsimustiku koostamisel kasutati küsimusi ja skaalasid erinevatest rahvusvaheliselt valideeritud küsimustikest. Kopenhaageni psühhosotsiaalsete

tegurite küsimustikust (*Copenhagen Psychosocial Questionnaire, COPSQ II*) kasutati küsimusi töökoormuse, töötempo ja töökohale esitatavate nõudmiste kohta [10]. Skeleti-lihaskonna vaevuste väljaselgitamiseks kasutati Põhjamaade skeleti-lihaskonna seisundi hindamise küsimustikku (*The Nordic Musculoskeletal Questionnaire*) [11]. Valutugevuse hindamiseks kasutati visuaalanaloog-skaalat (*Visual analogue scale - VAS*) [12]. Küsimustik koosnes 57 küsimusest ning sisaldas nii avatud kui suletud küsimusi. Vastused vaevuste esinemisele anti jah/ei vormis, märkides jäsemete puhul ka vasaku/parema poole või mõlemad. Vaevuste esinemise puhul tuli hinnata valu tugevust viimase kuu jooksul VAS-skaalal 0...10, kus 0 – valu ei esine ... 10 – talumatu valu. Vastused valu esinemise kohta viimasel 12 kuul anti vastusvariantidena 1–6 päeva, 1–4 nädalat ja 1–12 kuud. Vastused valu esinemise kohta viimasel kuul sai anda variantidena 1–6 päeva, 1–4 nädalat ja rohkem kui 2 nädalat. Küsimusele, kui mitmel päeval oli valu takistanud tööle minemist, sai anda valikvastuseid 0 päeva, 1–5 päeva, 6–30 päeva ja enam kui 30 päeva. Küsimustele töövigastuse esinemisest ja valu seostumisest tööga vastati jah/ei vormis. Vastuseid töökorraldusest oli võimalik anda skaalal 1...6, kus 1 - alati, 2 – sageli, 3 – mõnikord, 4 – harva, 5 – väga harva ja 6 – mitte kunagi. Kehamassiindeksi (KMI) alusel grupeeriti uuritavad järgnevate kategooriate järgi [13]: alakaal ($18,5 \text{ kg/m}^2$) normaalkaal ($18,5 - 24,9 \text{ kg/m}^2$), ülekaal ($25,0 - 29,9 \text{ kg/m}^2$), rasvumise I aste ($30,0 - 34,9 \text{ kg/m}^2$), rasvumise II aste ($35,0 - 39,9 \text{ kg/m}^2$), rasvumise III aste ($\geq 40 \text{ kg/m}^2$).

Kõik andmed koguti ja sisestati vaid uuringu läbiviija poolt parooliga varustatud arvutisse. Uuringu tulemused analüüsiti grupi tasandil ja andmed esitati üldistatud kujul.

E-küsimustiku andmed salvestati automaatselt Microsoft Excel programmis ja andmete statistiline analüüs toimus Microsoft Excel'i ja SPSS.21.0. (*Statistical Package for the Social Sciences*) abil. Tulemuste analüüsimiseks kasutati kirjeldavaid andmeid (üldsagedusnäitajad, keskmiseid väärtuseid, $\pm SD$). Gruppide erinevuste hindamiseks kasutati Mann-Whitney U ja Hii-ruut testi. Seoste leidmiseks kasutati Spearman'i korrelatsioonanalüüsi. Olulisuse nivooks võeti $p \leq 0,05$.

TULEMUSED JA ARUTELU

Ankeetküsimustikust võttis osa 33st loomaarstist ja abilisest 24 (vastamismäär 73%). Uuritavate üldised karakteristikud on esitatud tabelis 1. Uuritavatest olid 88% naised ja 13% mehed. Üle poole (54%) vastanutest olid ametilt loomaarstid ja 46% loomaarsti abilisest. Loomaarstide peamiseks tööülesanneteks oli kirurgiliste operatsioonide läbiviimine, nagu haavade kirurgiline sulgemine, artroskoopilised, ortopeedilised, neuroloogilised, pehmekoe ja traumakirurgilised operatsioonid. Vastanute loomaarsti abilisest peamiseks tööülesanneteks oli patsientidelt vere võtmine, veenikanüüli paigaldamine, operatsioonivälja pügamine karvadest, patsientide fikseerimine ja hooldus ning operatsiooni ajal patsiendi jälgimine. Uuritavate keskmine vanus oli $33,6 \pm 7,2$ aastat. Töötajate keskmine pikkus oli $170,0 \pm 8,2$ meetrit ja keskmine kehamass $75,9 \pm 18,6$ kg. Nädala keskmine töötundide arv oli 43 ± 7 , millest operatsioonilaua taga viibiti keskmiselt 5 ± 6 tundi. Pooled uuritavatest olid loomakliinikus töötanud 1–5 aastat, 5–10 aastase tööstaažiga oli 17% ning üle 10 aastase staažiga 25% töötajatest. KMI alusel oli 50% uuritavatest normaalkaalus, ülekaalus 38% ja rasvunud (II ja III aste) 13%.

Korrelatsioonanalüüs näitas positiivset seost suurema kehamassi ja põlvevaevuste esinemise vahel ($r = 0,474$; $p < 0,05$). Töökoormuse suurenemine korreleerus randme ja käelaba vaevustega ($r = 0,411$; $p < 0,05$).

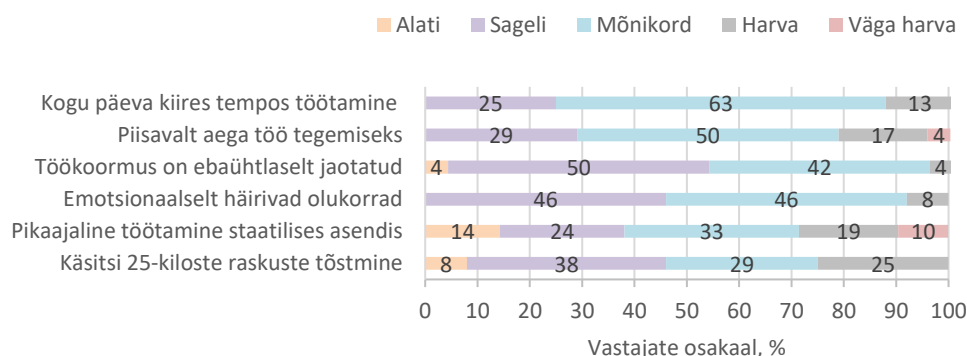
Tabel 1. Uuritavate üldised karakteristikud

Tabel 1. General characteristics of the participants

Üldandmed	Uuritavad (n = 24)
Keskmine vanus ($\pm SD$), aastat	33,6 ($\pm 7,2$)
Keskmine kehapikkus ($\pm SD$), cm	170,0 ($\pm 8,2$)
Keskmine kehamass ($\pm SD$), kg	75,9 ($\pm 18,6$)
KMI (keskmine $\pm SD$), kg m^{-2}	26,1 ($\pm 5,7$)
Tööstaaž (%)	
<1 aastat	8
1-5 aastat	50
5-10 aastat	17
>10 aastat	25

Keskmine töökoormus (\pm SD), tundi nädalas	43,0 (\pm 7,0)
--	-------------------

Küsitluse analüüsis selgus, et pea kaks kolmandikku (63%) vastajatest töötab mõnikord tööpäeva jooksul kiires tempos ning veerand uuritavatest töötab sageli kiires tempos (joonis 1). Tööpäeva jooksul kiires tempos töötamist esineb oluliselt rohkem suurema töökoormusega töötajatel ($p = 0,02$). Töötajad, kellel pole piisavalt aega tööülesannete täitmiseks suurenes valu esinemine alaseljas ($r = 0,458$; $p < 0,05$). Vastanutest 50% leidis, et sageli on töökoormus ebaühtlaselt jaotatud ning 46%-i hinnangul seab töö neid emotsionaalselt häirivatesse olukordadesse. Töökoormuse ebaühtlane jaotus korreleerub positiivselt kiires tempos töötamisega ($r = 0,532$; $p < 0,01$), mistõttu pole töötajatel piisavalt aega tööülesannete täitmiseks ($r = -0,668$; $p < 0,01$).



Joonis 1. Uuritavate hinnangud tööga seotud teguritele (% vastajate osakaal)

Joonis 1. Participants ratings of job related risk factors (% response rate)

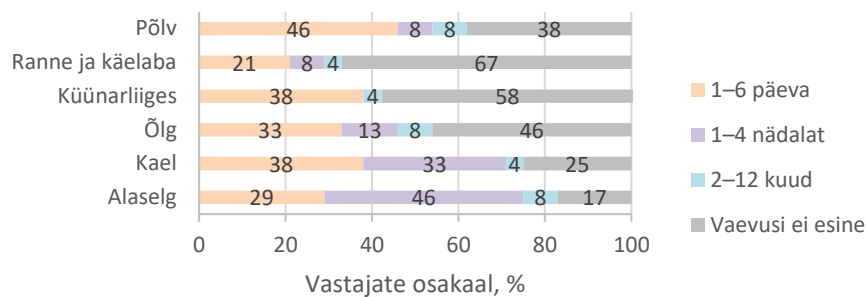
Kolmandik uuringus osalejatest teeb tööpäeva jooksul regulaarselt puhkepause. Need, kes puhkepause ei tee esines oluliselt rohkem põlvevaevusi ($p = 0,033$), samasugust tendentsi on näidanud ka varasem uuring [9]. Töötajatest 38% teeb alati või sageli pikaajaliselt tööd staatilises asendis ning kolmandik mõnikord. Õlavaevuste suurenemine oli korrelatiivses seoses pikalt staatilises asendis töötamisega ($r = 0,747$; $p < 0,01$). Uuritavatest 46% tõstab alati või sageli tööpäeva jooksul käsitsi 25-kiloseid või raskemaid raskuseid. Raskuste käsitsi tõstmisel esines oluliselt rohkem alaselja ($p < 0,05$) ja kaelavalusid ($p = 0,047$). Kõigest 8% vastanutest on saanud ergonoomika-alast koolitust, mis näitab, et vaevused võivad olla tingitud valedest töövõtetest ning teadmatusel. Varasemad uuringud on näidanud, et loomade tõstmine ning pikaajaline seisvas ja ebamugavas asendis töötamine on olnud üheks sagedasemateks põhjusteks SLVdele [14,15,16].

Tabel 2. Skeleti-lihasvaevuste esinemine erinevates kehapiirkondades viimase 12 kuu ja viimase kuu jooksul (% vastajate osakaal)

Tabel 2. Prevalence of musculoskeletal symptoms in different body regions during the past 12 months and past month (% response rate)

Kehapiirkond	Vaevuste esinemine viimase 12 kuu jooksul, %	Vaevuste esinemine viimase kuu jooksul, %
Õlg	46	33
Küünarliiges	21	17
Ranne/käelaba	25	17
Põlv	58	42
Alaselg	75	54
Kael	71	54

Enamus (91%) uuritavatest oli viimasel aastal tundnud SLV ühes või mitmes kehapiirkonnas. Tabelist 2 selgus, et viimase aasta jooksul esines enam vaevusi alaseljas (75%), kaelas (71%) ja põlvedes (58%) ning viimasel kuul samuti alaseljas (54%), kaelas (54%) ja põlvedes (42%). Vähem esines randme ja käelaba (25%) ning küünarliigese (21%) piirkonnas viimase aasta ja kuu jooksul (17%). Nimetatud vaevused seostusid vastanute hinnangul mingil määral tööga, neist alaselja- ja kaelavalu seos tööga oli kõige suurem. Ka varasemad uuringud on näidanud, et loomaarstidel esineb enam tööga seotud vaevusi kaelas ja alaseljas [8,17].



Joonis 2. Skeletilihasvalude kestus erinevates kehapiirkondades viimasel 12 kuul (% , vastajate osakaal)

Joonis 2. Duration of musculoskeletal pain in different body regions in the past 12 months (% , response rate)

Jooniselt 2 on näha, et viimase aasta jooksul esines uuritavatel enam põlvevalu (46%), küünarliigese- ja kaelavalu (38%) ning kolmandikul õlavalu kestusega 1–6 päeva. Ligi pooled (46%) töötajatest kannatasid 1–4 nädalat alaseljavalude ning kolmandik kaelavalude käes. Uuritavatest 8% esines alaselja-, õla- ja põlvevalu, mille kestuseks oli 2–12 kuud. Samas pole pidanud seni ükski töötaja SLVte tõttu töölt puuduma.

JÄRELDUSED

Uuringu tulemustest selgus, et loomaarstide ja loomaarsti abiliste töökoormus on tihti ebaühtlaselt jaotunud, mistõttu esineb tööpäeva jooksul olukordi, kus töötempo on liiga kiire. Suurema töökoormusega töötajatel täheldati oluliselt rohkem kiiremas tempos töötamist. Kõigest kolmandik uuritavatest tegi oma töös regulaarselt puhkepause.

Enamus uuringus osalejatest tundis viimase aasta jooksul ühes või mitmes kehapiirkonnas skeletilihasvaevusi. Loomaarstidel ja loomaarsti abilistel esines enam vaevusi alaselja-, kaela- ja põlvede piirkonnas. Viimase tööaasta jooksul on ligikaudu pooltel uuritavatel esinenud alaseljavalu ja kolmandikul kaelavalu kestusega 2–12 kuud.

Peamised tegurid skeleti-lihasvaevuste tekkes olid suurem kehamass, töökoormus, kiire töötempo, vähene puhkepauside tegemine, raskuste tõstmine ning pikalt staatilises asendis töötamine. Ennetamiseks skeletilihasvaevuste teket, tuleb enam tähelepanu pöörata regulaarsetele puhkepausidele, õigetele töövõtetele ja töökoha ergonoomikale loomaarstide ning nende abiliste töös.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] European Agency for Safety and Health at Work, "OSH in figures: Work-related musculoskeletal disorders in the EU — Facts and figures," 2010. [Online]. Available: <https://osha.europa.eu/en/tools-and-publications/publications/reports/TERO09009ENC>. [Accessed 19 03 2018].
- [2] M. Ghaffari, A. Alipour, et al, "Effect of psychosocial factors on low back pain in industrial workers," *Occupational medicine*, vol. 58, no. 5, pp. 341-347, 2008.
- [3] L. Punnett, A. Prüss-Ütün, et al, "Estimating the global burden of low back pain attributable to combined occupational exposures," *American journal of industrial medicine*, vol. 48, no. 6, pp. 459-469, 2005.
- [4] European Agency for Safety and Health at Work, "Introduction to work-related musculoskeletal disorders," Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2007. [Online]. Available: https://osha.europa.eu/sites/default/files/publications/documents/en/publications/factsheets/71/Factsheet_71_-_Introduction_to_work-related_musculoskeletal_disorders.pdf. [Accessed 12 02 2018].
- [5] L. Fritschi, L. Day, et al, "Injury in Australian veterinarians," *Occup Med*, vol. 56, p. 199–203, 2006.
- [6] J. Jeyaretnam and H. Jones, "Physical, chemical and biological hazards in veterinary practice," *Aust Vet J*, vol. 78, pp. 751-758, 2000.

- [7] E. D'Souza, R. Barraclough, et al, "Management of occupational health risks in small-animal veterinary practices," *Occupational Medicine*, vol. 59, pp. 316-322, 2009.
- [8] D. Smith, P. Leggat and R. Speare, "Musculoskeletal disorders and psychosocial risk factors among veterinarians in Queensland," *Aust Vet J*, vol. 87, pp. 260-265, 2009.
- [9] A. Tirgar, S. Khallaghi and M. Taghipour, "Study on musculoskeletal disorders, personal and occupational risk factors among surgeons," *Iranian journal of health sciences*, vol. 1, no. 1, pp. 50-57, 2013.
- [10] T. S. Kristensen, H. Hannerz, et al, "The Copenhagen Psychosocial Questionnaire-a tool for the assessment and improvement of the psychosocial work environment," *Scandinavian journal of work, environment & health*, pp. 438-449, 2005.
- [11] I. Kuorinka, B. Jonsson, et al, "Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms," *Applied Ergonomics*, kd. 18, nr 3, pp. 233-237, 1987.
- [12] N. Crichton, "Visual analogue scale (VAS).," *J Clin Nurs*, vol. 10, no. 5, pp. 706-6, 2001.
- [13] Body mass index – BMI, "World Health Organisation," [Online]. Available: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/disease-prevention/nutrition/a-healthy-lifestyle/body-mass-index-bmi>. [Accessed 21 03 2018].
- [14] A. Scuffham, E. Firth, et al, "Tasks considered by veterinarians to cause them musculoskeletal discomfort, and suggested solutions," *New Zealand Veterinary Journal*, vol. 58, no. 1, pp. 37-44, 2010.
- [15] C. Gabel and G. S. Gerberich, "Risk factors for injury among veterinarians," *Epidemiology*, vol. 13, pp. 80-6, 2002.
- [16] E. Bos, B. Krol, et al, "Risk factors and musculoskeletal complaints in non-specialized nurses, IC nurses, operation room nurses, and X-ray technologists," *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 80, pp. 198-206, 2007.
- [17] M. Ergan, F. Baskurt and Z. Baskurt, "The examination of work-related musculoskeletal discomforts and risk factors in veterinarians," *The Journal of Institute for Medical Research and Occupational Health*, vol. 68, no. 3, pp. 198-205, 2017.

Põllutöömashinate kaalujaotus

K. Kelgo, A. Küüt

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogia õppetool

Abstract. In nowadays agriculture heavy and large-scale mechanisms are used in the tractors hitch coupling mechanisms, ie machines that are difficult or limited to use with different tractors and machinery. Due to the large size, the manufactured machines and equipment are very demanding designed to reduce the mass of the machine and materials. In addition to the mechanical part, the machines also have sophisticated electronic and hydraulic systems that operate the machine with necessary adjustments and settings. In the course of this work, the loads generated by the tractor three point hitch system were examined, and the study resulted in the development of a test machine for agricultural machines that measures the load produced by the machine under test and allows to analyse the suitability of a particular equipment for a particular tractor. The main load characteristics are the weight of the machine and the location of the centre of gravity resulting from the construction of the machine in relation to the tractor. The study examined how the weight of the machine and the centre of gravity affects the various parts and components of the tractors three point hitch system. Based on the examination, a test bench was designed to test the parameters for the tractor to ensure the necessary conditions for the machine operation. The test bench is a novel solution because, in addition to the above systems, the test bench is equipped with an electronic system that checks the loads generated by the suspension system and as a result it is possible to estimate the expected parameters for the use of the machine.

Keywords: production; tractor technical parameters; testing machines;

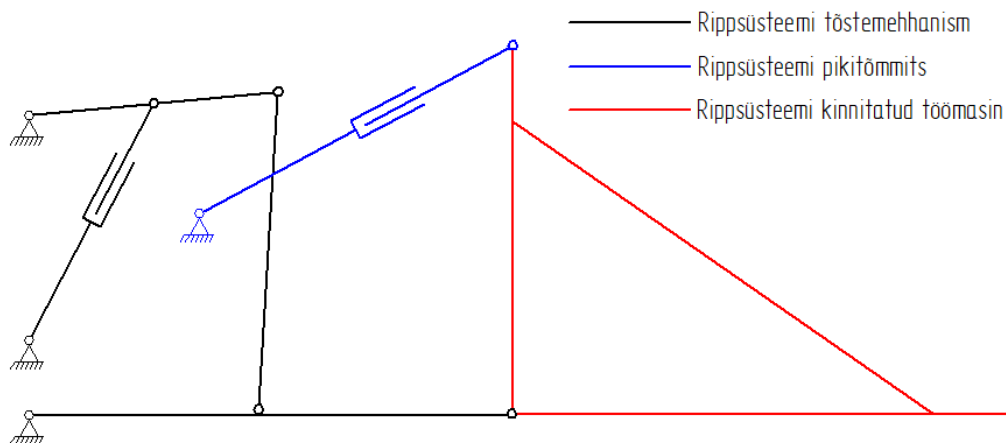
SISSEJUHATUS

Tänapäeva põllumajanduses on kasutusel väga palju erinevaid traktoreid ja põllumajandusmasinaid. Järjest rohkem kasutatakse üha suuremaid ja raskemaid töömasinaid ja seadmeid, et oleks võimalik ühe töökäiguga harida suuremat maa-ala. Sel viisil on võimalik vähendada ajakulu, mis on põllumajanduses vägagi määrava tähtsusega. Suuremate ja raskemate masinate tootmisega kaasneb aga teatud piirang põllumajanduslike töömasinate ja seadmete kasutamisel. Täpsemalt on iga masina kasutamiseks vajalik teatud suurusega traktori rakendamine. Enamjaolt on traktori parameetrid defineeritud traktori võimsuslike näitajatega (mootori võimsus; hüdraulika süsteemi tootlikus ja rõhk). Küll aga põllumeeste kogemused näitavad asjaolu, et traktori massile ei pöörata piisavalt tähelepanu. Nimelt tuleb teatud masinate kasutamiseks lisada traktorile lisaraskused ja balastid selleks, et oleks võimalik masinat soovitud viisil rakendada. [1]

Käesoleva töö raames on uuritud põllumajandusmasinate jaoks kasutatavaid rippüsteeme ning sellest tulenevalt vaadeldi rippüsteemi erinevatele osadele tekkivaid koormusi. Koormuste leidmiseks on kasutatud üldtuntud mehaanika ja tugevusteooria seoseid ning arvutusvalemeid. Käesoleva töö raames leitud seosed on vajalikud, et koostada põllumajandusmasinate katsestend ja mudel, et analüüsida erinevaid põllumajandusmasinaid üheselt võrreldavate parameetritega ning oleks seeläbi võimalik hinnata kas ja missugustel tingimustel katsetatav masin on sobilik ettenähtud traktoritele. [2, 372] [3, 10-17]

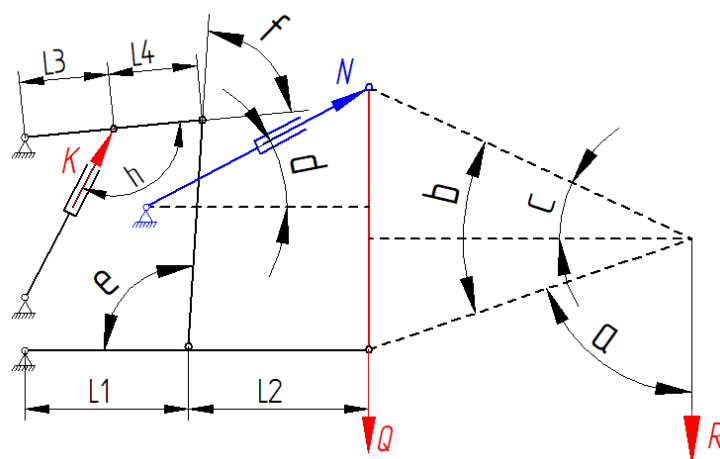
MATERIAL JA METOODIKA

Põllumajandusmasinate katsestend on oma olemuselt traktoritel kasutusel olev rippüsteem. Selleks, et toodetavad haakeriistad sobiksid erinevate traktoritega, on vastuvõetud rahvusvaheline direktiiv ISO/DIS 730, mis määrab traktoritel kasutatavate rippüsteemide sõlmede vahekaugused ja lubatud piirmäärad. Direktiiv on vajalik, et traktorite tootjad kasutaksid ettemääratud kategooriaid rippüsteemide konstrueerimisel ning kõik haakeriistad sobiksid ettenähtud kategooria rippüsteemidega. Selle tulemusel koostati katsestendi kinemaatiline skeem, mille põhjal koostati mehhanismi omavahelised seosed ja valemid, et leida süsteemi osades tekkivad koormused.



Joonis 1. Kinemaatiline skeem katsestendi rippsüsteemi kohta

Katsestendi ehituse põhjal (joonis 1) koostati võrrandid, mille abil on võimalik arvutada põllutöömehhanismi massist ja ehitusest tulenevad koormused. Arvestades asjaolu, et vaadeldav katsestend on universaalne kõikide rippsüsteemide jaoks, on vajalik leida põllutöömehhanismi poolt tekitatav jõud veoaisa otsas. Teades veoaisa otsas tekkivat jõudu, saame katsetulemusi teisendada iga traktoriga sobivaks, et selle tulemusel hinnata katsetatava põllutöömehhanismi sobivust vaadeldava traktoriga.



Joonis 2. Kinemaatiline skeem koormusarvutusteks

Joonisel 2 on kujutatud katsestendi rippsüsteemi ehitust ning olulisi parameetreid koormuste arvutamiseks. Käesoleva töö raames koostatud koormus arvutusi on teostatud sõlmede eraldamise meetodi kaudu. Koormuse arvutuse saab jaotada mitmeks erinevaks osaks. Esimese etapina on võimalik vaadelda olukorda, kuidas töömehhanismi mass mõjutab rippsüsteemi pikitõmmit (joonis 2, tähis N). Pikitõmmitale tekkiv koormus on avaldatav alljärgneva seose abil.

$$N = \frac{R \cdot \sin(a) \cdot \cos(c)}{\sin(b) \cdot \cos(d)} \quad (1)$$

kus N on pikitõmmita koormus, kg;
 R - töömehhanismi mass, kg;
 a, b, c, d - nurk joonisel 2 kujutatud asukohas, °.

Järgmise etapina on võimalik vaadelda olukorda, kuidas töömehhanismi mass mõjutab rippsüsteemi tõstemehhanismi. Täpsemalt, leitakse koormus veoaisa otsas, mis sõltub töömehhanismi massi suuruselt ja raskuskeskme asukohast.

$$Q = \frac{R \cdot (\sin(a) \cdot \cos(c) \cdot \sin(d) + \sin(a) \cdot \sin(c) \cdot \cos(d) + \sin(a+b) \cdot \cos(a) \cdot \cos(d))}{\sin(b) \cdot \cos(d)} \quad (2)$$

kus Q on veoaisa otsas olev põikkoormus, kg;
 R - töömasina mass, kg;
 a, b, c, d - nurk joonisel 2 kujutatud asukohas, °.

Valemiga 2 on avaldatud töömasina massist tulenev koormus veoaisa otsas (joonis 2, tähis Q), mille tulemusel tekib rippüsteemile kandev koormus. Nimetatud koormus on parameeter, mis otseselt mõjutab traktori kaalujaotust ning väärtuse Q põhjal on võimalik väärtused teisendada sobivaks kindla traktori rippüsteemile, et seeläbi teada, kuidas kindla traktori kaalujaotus muutub.

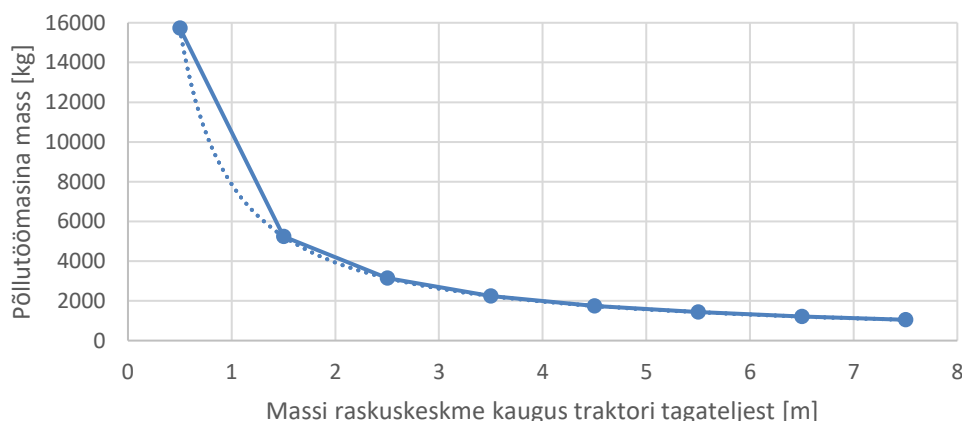
Arvestades asjaolu, et iga töömasina puhul ei ole võimalik avaldistes vajalikke väärtusi leida ning mõõta, on käesoleva töö raames koostatud avaldised, mille tulemusel on võimalik katsestendi abil avaldada kandev koormus veoaisa otsas. Nimetatud juhul on olulisteks parameetriteks katsestendi ehitus ning tõstemehhanismis oleva tõstesilindri koormus (joonis 2, tähis K).

$$Q = \frac{L_1 \cdot L_3 \cdot K \cdot \sin(e) \cdot \sin(h)}{\sin(f) \cdot (L_1 + L_2) \cdot (L_3 + L_4)} \quad (3)$$

kus Q on veoaisa otsas olev põikkoormus, kg;
 L_1, L_2, L_3, L_4 - katsestendi osade pikkused joonisel 2 kujutatud viisil, m;
 K - tõstesilindri pikikoormus, kg;
 e, f, h - nurk joonisel 2 kujutatud asukohas, °.

Valemiga 3 on avaldatud katsestendi ehitusest tulenevate seoste abil kandev koormus veoaisa otsas, mis sõltub töömasina massist ja raskuskeskme kaugusest, kuid nimetatud väärtuse avaldamiseks ei ole vajalik teada töömasina massi ega ka raskuskeskme asukohta. Kirjeldatud viisil on võimalik hinnata traktori kaalujaotuse muutumist kasutades töömasinat, mille puhul ei ole võimalik täpselt ja kiiresti määrata massi või raskuskeskme asukohta.

Lisaks rippüsteemi koormuse arvutustele, uuriti käesoleva töö raames ka konkreetse traktori tehnilisi andmeid ning selle tulemusel seoseid traktori massi ja haakriista massi omavahelisi seoseid. Traktori tehniliste andmete (teljevahe; esitelje tühimass) põhjal on võimalik leida, kui suure massiga põllutöömasin saab olla traktorile haagitud. Seal juures on määrava tähtsusega põllutöömasina massi raskuskeskme asukoht.



Joonis 3. Põllutöömasina suurim lubatud mass sõltuvalt traktorist.

Joonisel 3 on kujutatud põllutöömasina suurimat lubatud massi, mida traktor suudab tõsta. Olulised näitajad on põllutöömasina mass ja massi raskuskeskme kaugus traktori tagateljest, samuti traktori esitelje koormus ning telgede vahe. Käesoleva seose välja töötamisel on kasutatud ratastraktorit John Deere 6175R. Mehaanika üldseoste abil töötati välja alljärgnev seos.

$$y = \frac{m_{esi} \cdot t_v}{r_x} \quad (4)$$

kus y on põllutöomasina suurim lubatud mass.
 m_{esi} – traktori esitelje koormus, kg
 t_v – traktori teljevahe, m
 r_x – põllutöomasina raskuskeskme kaugus, m.

Tehtud arvutuste põhjal on võimalik leida põllutöomasina poolt tekitatav koormus ning traktori tehniliste andmete abil on võimalik leitud tulemust kooskõlastada traktoril kasutatava rippüsteemiga ning selle tulemusel on võimalik hinnata põllutöomasina ja traktori omavahelist sobivust. Valem 1 põhjal on võimalik avaldada rippüsteemi pikitõmmitsale tekkivat koormust. Valemite 2 ja 3 abil on võimalik avaldada rippüsteemi veoaisa otsas olevat kandvat koormust (joonis 2, tähis Q). Valemiga 2 leitakse nimetatud koormus töömasina massi ja raskuskeskme asukohta teades, sellisel juhul on võimalik hinnata töömasina sobivust mõne kindla traktoriga teoreetiliselt (nt. töömasina projekteerimisel). Valemiga 3 leitakse nimetatud koormus rippüsteemi detailide omavaheliste seoste abil ning tõstesilindris tekkivat koormust (joonis 2, tähis K) mõõtes. Kirjeldatud juhul on võimalik katsestendi kasutamisel hinnata töömasina sobivust mõne traktoriga katseliselt ning puudub vajadus teada töömasina massi ning raskuskeskme asukohta.

TULEMUSED JA ARUTELU

Käesoleva uurimustöö tulemusel loodi matemaatilised seosed traktoritel kasutatavate rippüsteemide ja põllutöomasinate poolt tekitatavate koormuste vahel. Leitud matemaatilisi seoseid on võimalik kasutada uute põllutöomasinate konstrueerimiseks ning samuti olemasolevate masinate arendusteks ja täiendusteks. Lisaks sellele on võimalik hinnata traktori võimekust teatud masinaid rippüsteemi abil tõsta ning traktori ehitust vajadusel kohanda, selleks et keerukama ehitusega seadmeid paremini traktoriga sobitada ja seeläbi töö tulemust parandada.

JÄRELDUSED

Käesoleva uurimustöö tulemusel püstitati eesmärgid, et leida matemaatilised seosed traktori rippüsteemide kohta ning lihtsustada seoseid sellisel viisil, et oleks võimalik ühe universaalse seadme põhjal hinnata mitmete erinevate traktorite ja põllutöomasinate ehituslikke eripärasid, et tekiks aja jooksul suurem andmebaas, mille põhjal erinevate traktorite ja põllutöomasinate andmed ja koosmõjud oleksid võrreldavad.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Department of Agricultural Engineering, "Development of a computer program for the path generation of tractor hitch points," [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511012001560> [Accessed 22.03.2018]
- [2] G. Molari, M. Matteti, A. Guarnieri, "Optimal Three-Point Hitch Design to Maximize Lifting Performance," *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, vol. 57, no. 2, pp 371-379, 2014.
- [3] S. Johansson, "Design of a three-point hitch," *Linköping University*, [Online]. Available: http://www.solid.iei.liu.se/Publications/Master_thesis/2008/LIU-IEI-TEK-A--0800433--SE_Svante_Johansson [Accessed 30.03.2018]

Puidutööstuse töötajate töökeskkond ja tervis

Work environment and health of wood industry workers

K. Kikas, E. Merisalu

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

Abstract. The aim is to explore the risk factors of work environment and analyze the potential health problems among wood industry workers. The questionnaires have sent to the company's work environment specialist, who divided them to the employees. The questionnaire has completed based on the CUPID study (*Cultural and Psychosocial Influences on Disability*) part A [1] and adapted to the purpose and tasks of the research. Forty workers from 140 sent back the filled questionnaires in closed envelopes to the researcher. The average age of the study group was $43,23 \pm 11,21$ years. Most of the respondents (50%) have worked in the chosen position for more than 5 years, 42,5% had service length 1–5 years and less than a year has worked in the company 7,5% of the sample. The average workload of respondents was $43,4 \pm 7,3$ hours per week. The prevalence of musculoskeletal pain was higher in women than in men ($p = 0,05$). The biggest gender difference has seen in the neck pain. No any employee has been absent for more than 30 days from work. The wood industry employees more often have sick leave because of lower back pain.

Key words: wood industry, work environment, risk factors, musculoskeletal pain.

SISSEJUHATUS

2014. aastal töötas puidutööstuse sektoris 3,3 miljonit inimest üle EU-28 [2]. Eestis on tähtis majandusharu puidu- ja mööblitööstus, mis on oma tootmismahult teisel kohal [3]. Eestis oli 2015 a. 7736 puidutööstuse töötaja [2]. Puidu- ja mööblitööstuse töötajatel on suur osakaal tööõnnetustes ja tööga seotud haigestumistes. Suurim tõenäosus on tööõnnetusse sattuda eelkõige puidutööstuse töötajatel. Eesis oli 2016. aastal puidutööstuses kokku 337 tööõnnetust. Tegevusalade lõikes on puidutööstuses kutsehaigestumisi ja tööst põhjustatud haigestumisi veidi üle 10% [3, 4]. Eesti kutsehaiguste statistika näitab, et 2/3 kutsehaigustest on skeletilihasprobleemid [5].

Steven'i (2012) poolt läbiviidud uuringust töötervishoiu ja tööohutuse probleemide kohta Mutares (Zimbabwe) selgus, et kolm põhilist terviseprobleemi puidutööstuse firma töötajatel oli seljavalud (68%), silmahaigused (49%), ninalimaskestaärritused (46%). Töölised kaebasid veel suurte raskuste tõstmise ja tõmbamise, ebamugavate asendite ja stressi pärast. [6] Ohios tehti puidutoodete tootmise tehases uuring, et analüüsida kutsealaseid vigastustusi. Kolm raskemat vigastuste kategooriat saega seotud hüvitusnõuetes olid luumurrud, lahtised haavad ja amputatsioonid. [7].

Kagu-Nigeerias tehti uuring, et välja selgitada töötajate teadlikkust tööga seotud ohtude mõjust ja ohutusalaestest tavade. Enamik vastanutest oli teadlik puidutööstuse ohtlikkusest. Vaatamata sellele, et see mõjutas nina- ja kurgu limaskestas seisundit, arvasid 33%, et respiraator pole vajalik. Töötajatest 33% ei käinud igapäevaselt peale tööd vannis. [8] Põhja-Nigeeria uuringutulemustest selgus, et rohkem kui pooled vastanutest olid teadlikud tööalastest ohtudest. Episoodilised terviseprobleemid olid hingamisraskused ja kuulmisprobleemid. Töötajad kaebasid ka pidevate seljavalude üle. [9] Kwara osariigi tulemustest selgus, et töötajate teadmised kutsealaste ohtude kohta oli vähesed. Kõige rohkem levinud probleem oli stress ja väsimus, millele järgnes silmade ärritus. Kõige tavalisemad probleemid, mida töölised kogesid olid müra, kuumus, vigastused ja elektrilöögid. [10]

Uuring viidi läbi ühes Võrumaa puidutööstusettevõttes, kus töötas 2016. aasta veebruari andmete põhjal 213 inimest. Antud ettevõtte põhitegevuseks on männi liimpuidu tootmine. Toodangust läheb 80% ekspordiks. Pealmised ekspordisuunad on Põhjamaad, Kesk-Euroopa ja Jaapan.

Uuringu eesmärk on uurida puidutööstuse töötajate tööst ja töökeskkonnast tulenevaid ohutegureid ning analüüsida võimalikke terviseprobleeme.

MATERJAL JA METOODIKA

Küsitlusuuring puidutööstustöötajate hulgas viidi läbi 2017. a. veebruarikuus ühes Võrumaa puidutööstuses. Uurija kooskõlastas ankeetküsimustiku sisu ja küsimused ettevõtte juhtkonnaga. Küsimustiku töökindluse piloteerimiseks andis uurija küsimustiku vastamiseks 140 inimesele. Küsimustikud anti ettevõtte töökeskkonnaspetsialistile, kes edastas need töötajatele. Täidetud küsimustikud koguti suletud kasti. Vastamine oli vabatahtlik ja anonüümne. Vastaja nime ei küsita, küsimustikud kodeeritakse. Küsimustikuna on kasutatud CUPID (*Cultural and Psychosocial Influences on Disability*) A osa [1] ning on kohandatud vastavalt uurimistöö eesmärgile ja ülesannetele.

Küsimustikus on seitse osa: info uuritavakohta (8 küsimust), praegune töö (10), skeletilihaskasvud ja valulikkus (32), vastaja seisukohad valu põhjustest ja vältimisest (3), tervisest üldiselt (5), tundmused seoses oma töö ja kolleegidega (1), tervisekäitumine ja tööohutus (10). Küsimusi on kokku 69. Kasutati avatud ja suletud küsimusi.

Küsimustele ohutegurite esinemise kohta oli võimalik vastata jah/ei vastustega ning skeletilihaskasvu ajalise kestvuse järgi: 0-päeva, 1–5 päeva, 6–30 päeva ja enam kui 30 päeva. Töövõime hindamiseks kasutati 10-palli-skaalat, kus 1 tähistas väga halba ja 10 väga head töövõimet.

Keha-massi-indeksi (KMI) arvutamisel mõõdeti uuritavate mass (kg) ja kehapikkus (m) ja KMI arvutamisel kasutati valemit: $KMI = \text{mass (kg)} / \text{pikkus (m)}^2$. Tulemused jagati vastavatesse kategooriatesse: 18,5 kg/m² – alakaal, 18,5 – 24,9 kg/m² – normaalkaal, 25,0 – 29,9 kg/m² – ülekaal, 30,0 – 34,9 kg/m² – rasvumise I aste, 35,0 – 39,9 kg/m² – rasvumise II aste, >40 kg/m² – rasvumise III aste.

Avatud küsimused puudutasid uuritava ametinimetust, muid (lisa) töökohti, missuguse spordialaga uuritav tegeleb ja uuritava ettepanekud töökeskkonna parendamiseks. Küsimustiku lõpus oli võimalik nõustuda või mitte nõustuda mõõtmistega uuringu teises etapis.

Küsimustiku vastused trükkis uurija isiklikult andmetöötlusprogrammi *MS Excel 2007*. Ankeetküsitluse tulemuste analüüsimiseks kasutati andmetöötlusprogrammi *SPSS.24.0 (Statistical Package of Social Sciences)*. Kirjeldavad karakteristikud esitati keskväärtuse ± standardhälbe kujul ning sagedustabelitena (%).

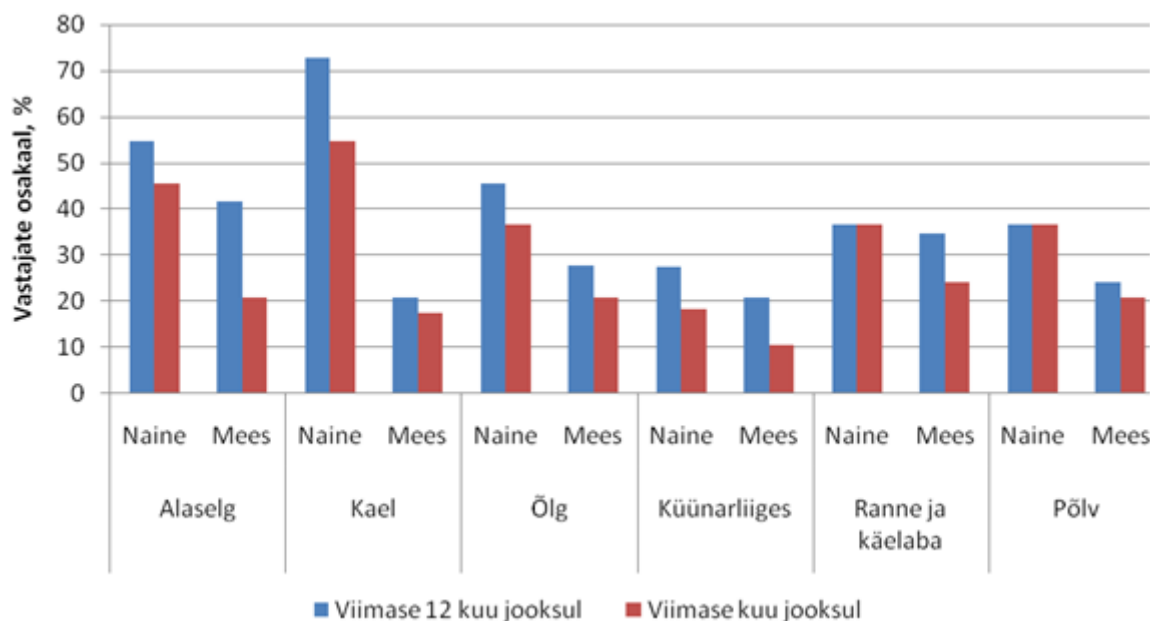
TULEMUSED JA ARUTELU

Ankeetküsimustikust võttis osa 40 töötajat 140-st, sellest tuleb välja, et vastamismäär oli 29%. Meessoost uuritavad moodustasid 72,5% (n=29) ja naissoost uuritavad 27,5% (n=11) vastanutest. Uuritavate keskmine vanus oli 43,23 ± 11,21 aastat. Vanuse järgi jaotatud uuritavad kolme gruppi. Esimesse vanusegruppi kuulus 45% (26-40a), teise kuulus 20% (41-50a) ja kolmandasse kuulus 35% (51-64) vastanutest. Uuritavate keskmine pikkus on 175,13 ± 7,79 cm ning keskmine kaal on 84,35 ± 13,67 kg. Keha-massi-indeksi järgi liigitusid 30% normaalkaalu kategooriasse (KMI 18,5–24,9 kg/m²), 42,5% olid ülekaalus (KMI 25–29,9 kg/m²) ning 27,5% vastanutest liigitusid rasvunute kategooriasse (KMI ≥ 30 kg/m²). Vastanutest on kunagi regulaarselt suitsetanud 45% ja nendest 10% suitsetab praegugi regulaarselt. Enamus vastajatest (50%) on valitud ametikohas töötanud üle viie aasta, 1–5 aastase staažiga on 42,5% ja vähem kui ühe aastase staažiga on ettevõttes töötanud 7,5% valimist.

Uuritavalt küsiti, mida hõlmab tavaline tööpäev. Nendest 72,5% vastas, et korduvaid randme või sõrmede liigutusi on kokku üle nelja tunni. Veel vastati 72,5%, et korduvat küünarliigese painutamist ja sirutamist on kokku üle ühe tunni. Liikumine trepil üles või alla (rohkem kui 30 trepiastet päevas) liiguvad 70% töötajatest. Töötajatest 52,5% vastasid, et

töötavad pinge all, selleks et lõpetada ülesanded kindlaks ajaks. Vastanutest 40% tõstavad käsitsi 25-kilost või suuremat raskust. Töötajatest 30% vastas, et neile tasutakse vastavalt sellele, kui palju tööülesandeid nad tegid päevas või kui palju tooteid päevas nende üksus valmistas. Kokku üle ühe tunni töötajatest põlvitavad või kükitavad 27,5% vastanutest. Veel vastati 27,5%, et neid premeeritakse, kui nad teevad või lõpetavad päevas rohkem tööülesandeid, kui töökohustus seda ette näeb. Üle nelja tunni kasutab 20% töötajatest arvuti klaviatuuri või kirjutusmasinat. Töötamine asendis, kus käed on õlgadest kõrgemal kokku üle ühe tunni vastas 17,5% jaatavalt.

Joonisel 1 on toodud skeletilihasvalude esinemissagedus kehapiirkondades viimase aasta ja viimase kuu jooksul nii naistel kui ka meestel.



Joonis 4. Valude esinemissagedus kehapiirkondades viimase aasta ja kuu jooksul (% , vastajate osakaal).

Figure 1. Incidence of musculoskeletal pain in the past 12 months and past month (% , proportion of respondents).

Joonis 1. tulemustest selgub, et skeetilihasvalude levimus on naistel suurem, kui meestel. Kõige suurem sooline erinevus on kaelavalu suhtes, viimase 12 kuu jooksul kaelavalu esinemissagedus naistel on 72,7% ja meestel 20,7% ning viimase kuu jooksul on naistel 54,5% ja meestel 17,2%. Naistel esines valu kõige rohkem kaelas nii viimase 12 kuu jooksul (72,7%) kui ka viimase kuu jooksul (54,5%) ja meestel esines viimase 12 kuu jooksul alaseljas (41,4%) ning viimase kuu jooksul randmes ja käelabas (24,1%). Kõige vähem esineb valu küünarliigeses, viimase 12 kuu jooksul naistel 27,3% ja meestel 20,7%, veel sama protsendiga esineb valu meestel kaelas ning viimase kuu jooksul on küünarliigesevalu naistel 18,2% ja meestel 10,3%.

Tabelis 1 on toodud valu esinemissagedus erinevates kehapiirkondades sõltuvalt kehapoolest viimase 12 kuu jooksul nii naistel, kui ka meestel.

Tabel 1. Valu esinemissagedus kehapiirkondades sõltuvalt kehapoolst viimase 12 kuu jooksul (%, vastajate osakaal)

Table 1. Incidence of musculoskeletal pain depending on the side of body in the past 12 months (%, proportion of respondents)

Valu- piirkond	Valu esinemine		Parem		Vasak		Mõlemas	
	Naine	Mees	Naine	Mees	Naine	Mees	Naine	Mees
Alaselg	54,5	41,4	-	-	-	-	-	-
Kael	72,7	20,7	-	-	-	-	-	-
Õlg	45,5	27,6	36,4	0	9,1	6,9	0	20,7
Küünarliiges	27,3	20,7	0	3,4	9,1	10,3	18,2	6,9
Ranne ja käelaba	36,4	34,6	0	3,4	0	13,8	36,4	17,2
Põlv	36,4	24,1	0	3,4	9,1	0	27,3	20,7

Tabelist 1 on näha, et paremas kehapooles on naistel valu ainult õlas (36,4%), meestel on võrdselt küünarliigeses, randmes ja käelabas ning põlves (3,4%). Vasakul kehapooles on naistel võrdselt valu õlas, küünarliigeses ja põlves (9,1%), meestel on õlas (6,9%), küünarliigeses (10,3%) ning randmes ja käelabas (13,8%). Nii meestel kui ka naistel on kõige rohkem valusid mõlemas kehapooles. Naistel on randmes ja käelabas 36,4%, põlves 27,3% ja küünarliigeses 18,2%. Meestel on õlas ja põlves 20,7%, randmes ja käelabas 17,2% ning küünarliigeses 6,9%.

Tabelis 2 on toodud valu esinemissagedus erinevates kehapiirkondades sõltuvalt kehapoolst viimase kuu jooksul nii naistel, kui ka meestel.

Tabel 2. Valu esinemissagedus kehapiirkondades sõltuvalt kehapoolst viimase kuu jooksul (%, vastajate osakaal)

Table 2. Incidence of musculoskeletal pain in different body regions and depending on the body side in the past month (%, proportion of respondents)

Valu- piirkond	Valu esinemine		Parem		Vasak		Mõlemas	
	Naine	Mees	Naine	Mees	Naine	Mees	Naine	Mees
Alaselg	45,5	20,7						
Kael	54,5	17,2						
Õlg	36,4	20,7	27,3	0	9,1	6,9	0	13,8
Küünarliiges	18,2	10,3	0	0	9,1	3,4	9,1	6,9
Ranne ja käelaba	36,4	24,1	0	0	0	10,3	36,4	13,8
Põlv	36,4	20,6	0	3,4	9,1	0	27,3	17,2

Tabelist 2 on näha, et viimase kuu jooksul on naistel paremas kehapooles õlavalu vähenenud 9,1% võrra, meestel pole viimase kuu jooksul olnud enam küünarliigese ning randme ja käelaba valu, ainult põlve valu on samaks jäänud. Vasakul kehapooles on naistel valud samaks jäänud võrreldes viimase 12 kuuga, meestel on õlavalu samaks jäänud ja küünarliigese valu vähenenud 6,9% võrra ning randme ja käelaba valu vähenenud 3,5% võrra. Mõlemas kehapooles on naistel samaks jäänud randme ja käelaba ning põlve valu, vähenenud on küünarliigese valu 9,1% võrra. Meestel on samaks jäänud ainult küünarliigese valu, vähenenud on õlavalu 6,9% võrra, randme ja käelaba valu 3,4% võrra ning põlve valu 3,5% võrra.

Tabelis 3 on toodud valude kestus ning töölt puudunud päevade arv viimase aasta jooksul.

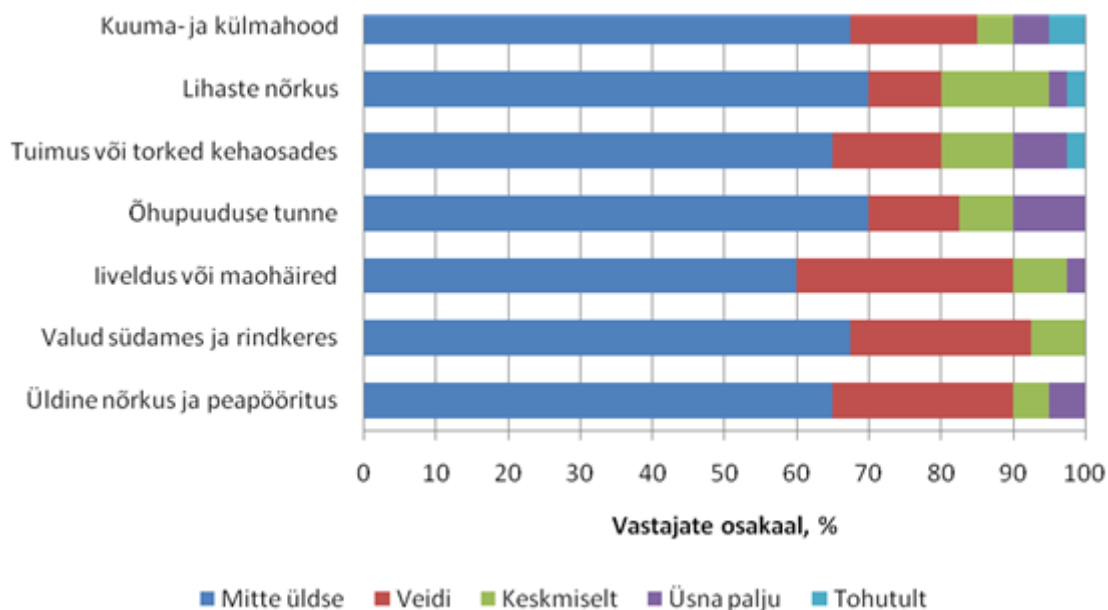
Tabel 3. Valude kestus ning töölt puudunud päevade arv viimase aasta jooksul (% , vastajate osakaal)

Table 3. Duration of pain and missed working days in the past 12 months (% , response rate)

Valupiirkond	Valude kestus			Töölt puudumise kestus			
	1–6 päeva	1–4 nädalat	1–12 kuud	0–päeva	1–5 päeva	6–30 päeva	>30 päeva
Alaselgvalu	33,3	55,6	11,1	66,7	16,7	16,7	-
Kaelavalu	42,9	35,7	21,4	85,7	7,1	7,1	-
Õlavalu	38,5	30,8	30,8	92,3	7,7	-	-
Küünarliigesevalu	33,3	11,1	55,6	88,9	-	11,1	-
Randme-/ käelabavalu	21,4	50,0	28,6	85,7	-	14,3	-
Põlvevalu	18,2	18,2	63,6	81,8	9,1	9,1	-

Tabelist 3 on näha, et ükski töötaja pole puudunud rohkem kui 30 päeva töölt. Kõige rohkem on puuditööstuse töötajad töölt puudunud alaseljavalu tõttu, 16,7% on puudunud 1–5 päeva ja 16,7% on puudunud 6–30 päeva. Kõige vähem on puudunud õlavalu tõttu ja puuditud on 1–5 päeva (7,7%). Kõige rohkem 1–12 kuu jooksul on kestnud põlvevalu (63,6%) ja sellele järgneb küünarliigesevalu (55,6%), kõige vähem selle aja jooksul on olnud alaseljavalu (11,1%). Kõige lühema aja jooksul (1–6 päeva) on kõige vähem kestnud põlvevalu (18,2%) ja randme-/käelabavalu (21,4%) ning kõige rohkem on kestnud kaelavalu (42,9%) ja õlavalu (38,5%)

Joonisel 2 on toodud puuditööstuse töötajate hinnang terviseprobleemide kestusele, mis on uuritavatele probleeme tekitanud viimase nädala jooksul.



Joonis 5. Töötajate hinnang terviseprobleemide kestusele protsentides, mis on uuritavatele probleeme tekitanud viimase nädala jooksul (% , vastajate osakaal).

Figure 2. Employee estimation of the duration of health problems as a percentage of the problems that have been raised during the last week (% , proportion of respondents).

Üle 60% töötajatest vastas, et viimase nädala jooksul pole neil terviseprobleeme olnud. Veidi on olnud kõiki terviseprobleeme, kõige rohkem (30%) on olnud töötajatel iiveldus või maohäired. Keskmiselt on kõige rohkem (15%) olnud lihaste nõrkust. Üsna palju on kõiki väljaarvatud valud südames ja rindkeres. Töötajad vastasid, et tohutult on kuuma- ja külmahood (5%), lihaste nõrkus (2,5%) ja tuimus või torked kehaosades (2,5%).

JÄRELDUSED

Tulemustest selgub, et puidutööstuse töolistel on skeletilihavalude levimus naistel suurem, kui meestel, see tuleneb sellest, et meestel ja naistel on erinevad tööülesanded. Naistetöö eeldab korduvliigutusi ja meeste töö eeldab suurte raskuste käsitsi teisaldamist. Sellest tulenevalt on naistel ainult paremas kehapooles õlas valud.

Kõige rohkem on puidutööstuse töötajad töölt puudunud alaseljavalu tõttu, see tuleb raskuste käsitsi teisaldamisest sundasendis.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Coggon, D., Ntani, G., Palmer, K.T., Felli, V.E., *et al* "The CUPID (Cultural and Psychosocial Influences on Disability) Study: Methods of Data Collection and Characteristics of Study Sample". PLoS One 7(7):1–22. E39820. www.plosone.org, 2012.
- [2] Eurostat. "Wood products – production and trade". Agriculture, forestry and fishery statistics, 2017.
- [3] Reisberg, R., Avi, I., Kaljula, P., Ivask, M., Saar, J. "Tööohutus puidu- ja mööblitööstuses". Tallinn: Tööinspeksioon. 51 lk, 2015.
- [4] Tööinspeksioon. Töökeskkond. Tallinn. 52 lk, 2016.
- [5] Terviseamet. "Kutsehaigestumine ja tööst põhjustatud haigestumine 2016. aastal", 2016.
- [6] Steven, J. "Occupational health and safety problems among workers in the wood processing industries in Mutare, Zimbabwe". Journal of Emerging Trends in Economics and Management Sciences (JETEMS) 3(3): 278-285, 2012.
- [7] Lindsay Beery, jt. "Occupational Injuries in Ohio Wood Product Manufacturing: A Descriptive Analysis With Emphasis on Saw-Related Injuries and Associated Causes". Am J Ind Med. 2014 November; 57(11):1265-1275, 2014.
- [8] Diwe, K., Duru, C., Iwu, A. "Occupational Hazards, Safety and Hygienic Practices among Timber Workers in a South Eastern State, Nigeria". Occupational Diseases and Environmental Medicine, 2016, 4, 63-71, 2016.
- [9] Funmilola Adenike Faremi, jt. "Occupational hazard awareness and safety practices among Nigerian sawmill workers". International Journal of Medical Science and Public Health, 2014, vol 3, isuse 10, 2014.
- [10] Agbana. B, jt. (2016). "Knowledge of occupational hazards among sawmill workers in Kwara state, Nigeria". Nigerian Postgraduate Medical Journal; Jan-Mar 2016; volume 23; issue 1, 2016.

Skeleti-lihassüsteemi vaevused, kehaline aktiivsus ja töövõime naiskontoritöötajatel

K. Kindsiko¹, T. Sirge¹, M. Pääsuke²

¹Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogia õppetool

²Tartu Ülikool, Meditsiiniteaduste valdkond, Sporditeaduste ja füsioteraapia instituut

Abstract. The purpose of this study was to examine the prevalence of musculoskeletal discomfort, work ability and physical activity in office workers. The participants were recruited from the three universities and from the support structure of two higher education institutions in Estonia ($n = 215$). The average age of the subjects was 41.98 ± 1.95 years and the body mass index was 23.96 ± 3.73 kg/m². Participants' working experience was at least one year (mean 21.47 ± 13.01 years). On average, the participants were in contact with the monitor 7.51 ± 2.98 hours per day. In female office workers, musculoskeletal discomfort was more prevalent in the lower back, neck, shoulders, elbows, wrists and knees. Younger participants preferably do more sports, whereas 62% of the office workers have a good working capacity.

Keywords: office workers, musculoskeletal discomfort, physical activity, work ability

SISSEJUHATUS

Tänapäeval töötab kogu maailma elanikkonnast ca 50% kontoris [1]. Kontoritöötajatele on iseloomulik istuv, ebamugav ja liikumatu tööasend, kiire töötempo ning pikaajaline staatilises asendis istumine [2]. Pikaajaline istumine võib esile kutsuda näiteks skeleti-lihassüsteemi vaevusi, südame-veresoonkonnahaigusi, II tüüpi diabeeti, vähki ja ainevahetussündroomi [3]. Istumine vähendab ka töötaja vaimset heaolu, tööviljakust ning naistel suurendab depressiooni sümptomeid [4]. Kõige sagedasemaks terviseprobleemiks kontoritöötajatel on skeleti- lihassüsteemi vaevused [5]. Eestis 2016. a. läbi viidud uuringust selgus, et 83,6% kontoritöötajatest ($n = 61$) esines skeleti-lihassüsteemi vaevusi vähemalt ühes kehaosas ning ainult 16,4% teatas, et viimase kuu ja seitsme päeva jooksul ei ole neil vaevusi esinenud. Peamiselt esinesid valud alaseljas (57,4%), kaelas (50,8%), õlgades (44,3%), põlvedes (27,9%) ning randmetes (27,9%). [5] Saksamaal läbi viidud uuringus selgus samuti, et kontoritöötajatel ($n = 69$) esinevad valud peamiselt seljas (30%), kaelas (30%) ning õlgades (20%). Päeva lõppedes valu tõusis ca 20%, mis tähendab, et tööpäeva pikkuse suurenedes suurenevad ka skeleti-lihassüsteemi vaevused. [1, 6] Türgis 2016. a. läbi viidud uuringust leiti, et valude esinemissagedus on kõrgem kontoritöötajatel, kes on kasutanud arvutit üle 15 aasta ning töötajatel, kes kasutavad arvutit üle 7 tunni päevas. Lisaks on selgunud, et skeleti-lihassüsteemi vaevusi esineb rohkem kontoritöötajatel, kellel on suurem kehamassiindeks, väiksem kehaline aktiivsus ning töövõime. [7]

Antud uuringu eesmärgiks oli välja selgitada skeleti-lihassüsteemi vaevuste levimus, töövõime ning kehaline aktiivsus naiskontoritöötajatel.

MATERIAL JA METOODIKA

Uurimisobjektideks olid Eesti kõrgkoolide ja ülikoolide tugistruktuuri töötajad. Valiku tegemise peamiseks aspektiks oli koolide töötajate nõusolek ning seetõttu moodustasid lõpliku grupi kolm ülikooli ning kaks kõrgkooli – Tallinna Tehnikaülikool, Tallinna Ülikool, Eesti Maaülikool ning Tallinna Tehnikakõrgkool ja Tartu Tervishoiu Kõrgkool. Koolide tugistruktuuri töötajatele ($n = 591$) saadeti elektrooniline ankeetküsimustik. Uuritava grupi moodustamise kriteeriumiteks olid naissugu, töö kuvariga ning tööstaaž vähemalt üks aasta. Andmete kogumiseks kasutati ankeetküsimustikku, mis koosnes rahvusvahelistest küsimustikest (*NQM* – The Nordic Musculoskeletal *Questionnaire*, *BQ* – *Baecke Physical Activity Questionnaire*, *WAI* – *Work Ability Index*). Küsimustikud koondati üheks tervikuks, mis koosnes viiest osast: 1) üldandmed ja tööalased näitajad; 2) kehaline aktiivsus; 3) töövõime indeks; 4) skeleti-lihasvalude esinemine viimase kuu jooksul erinevates keha piirkondades; 5) skeleti-lihasvalude esinemine viimase kuue kuu ja seitsme päeva jooksul erinevates keha piirkondades.

Ankeet koosnes 74 küsimusest ning vastamine võttis aega orienteeruvalt 20 – 30 minutit. Kasutati nii avatud kui ka suletud küsimusi ning *Likerti*-tüüpi skaalat. Ankeetküsimustik riputati üles *Google Forms* keskkonda ning uuritavatele saadeti see kohe peale Tartu Ülikooli Inimuuringute Eetika komiteelt loa saamist (protokolli nr. 271/T-8) juulis 2017. aastal. Tulemuste analüüsimiseks kasutati andmetöötlusprogramme *Microsoft Office Excel* 2017 ja *SPSS* 25.0 (*Statistical Package for the Social Sciences*). Arvutati aritmeetiline keskmine ja standardhälve (\pm SD).

TULEMUSED JA ARUTELU

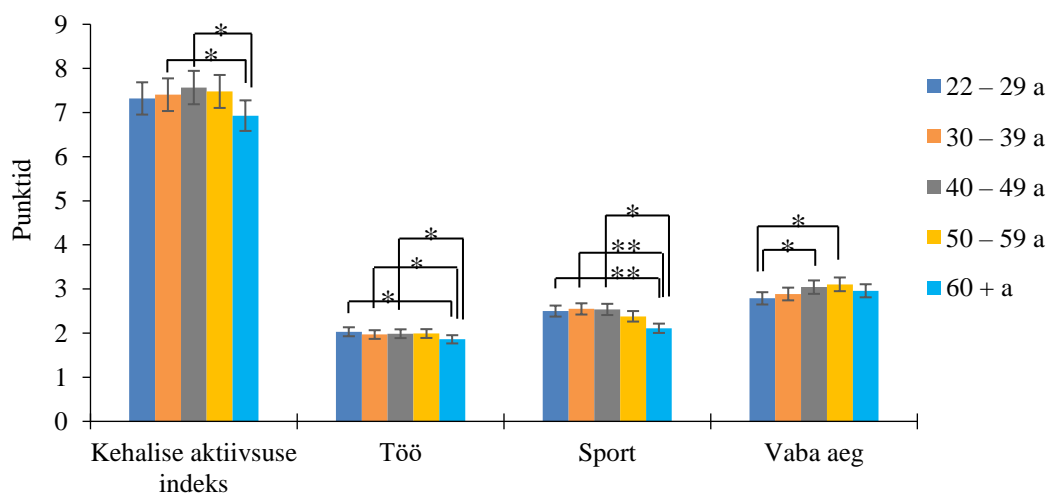
Ankeetküsimustikule vastas 215 tugistruktuuri töötajat 591-st. Vastamise määr oli 36,4%. Kõik uuritavad olid naissoost, keskmine vanus oli $41,98 \pm 1,95$ eluaastat ning kehamassiindeks $23,96 \pm 3,73$ kg/m². Lähtuvalt kehamassiindeksist olid uuritavatest 2,33% alakaalus, 65,12% normaalkaalus, 24,65% ülekaalus, 7,44% rasvunud I astmes ning 0,47% rasvunud II astmes. Keskmiselt töötasid vaatlusalused kuvariga $7,51 \pm 2,98$ tundi päevas, mis tähendab, et nad veetsid suure osa päevast istuvas asendis (tabel 1).

Tabel 1. Uuritavate üldandmed ja tööalased näitajad ($n = 215$)

Table 1. General data and occupational characteristics of the survey ($n = 215$)

Tunnus	Uuritavad (keskmine \pm SD)
Vanus (aastat)	$41,98 \pm 12,95$
Pikkus (cm)	$167,06 \pm 5,68$
Mass (kg)	$66,82 \pm 10,28$
Kehamassiindeks (kg/m ²)	$23,96 \pm 3,73$
Tööstaaž ametikohal (aastat)	$10,87 \pm 11,02$
Tööstaaž asutuses (aastat)	$7,81 \pm 7,91$
Tööstaaž elus (aastat)	$21,47 \pm 13,01$
Päevas kuvariga töö (tundi)	$7,51 \pm 2,98$
Nädalas kuvariga töö (tundi)	$23,96 \pm 3,73$

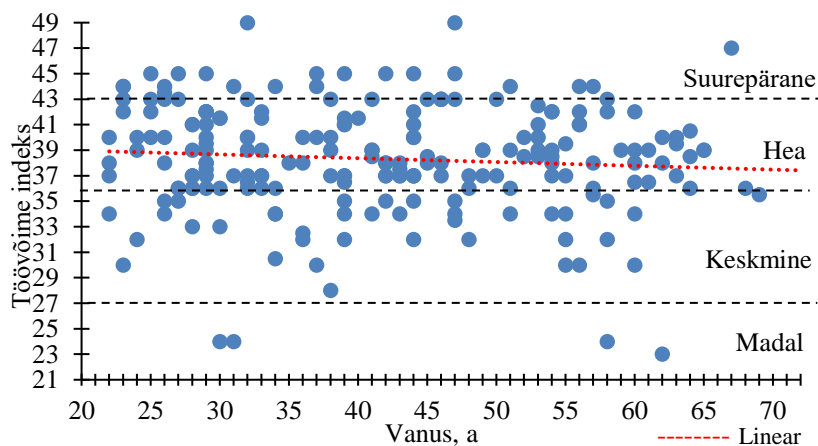
Spordiga tegelesid 55,81% uuritavatest. Selgus, et uuritavatel, kes ei tegele spordiga, oli suurem kehamassiindeks ($p = 0,036$) kui spordiga tegelejatel. Peamisteks spordialadeks olid rühmatreeningud (41,32%), jooksmine (11,57%), kiirkõnd (11,57%), jõutreening (9,09%), võimlemine (8,26%) ning jalgrattasõit (4,13%). Ühe treeningu kestus oli ligikaudu pooltel uuritavatel (51,41%) 1,5 tundi. Spordiala harrastati enamasti (46,28%) kaks kuni kolm korda nädalas. Vabal ajal kõndis või sõitis jalgrattaga poodi, kooli või tööle 15 – 30 minutit kolmandik uuritavatest (31,68%). Lisaks vaatasid vabal ajal televiisorit väga sageli 6,05% ning sageli 27,44% uuritavatest. Tööl peaaegu kõik uuritavad sageli istusid (99,07%) ning 5,12% uuritavatest vaheldasid istuvat tööasendit seismisega. Uuritavate kehalise aktiivsuse indeks, töö, spordi ning vaba aja skoorid vanusegruppide järgi on toodud joonisel 1.



Joonis 1. Uuritavate *Baecke* kehalise aktiivsuse küsimustiku töö-, spordi-, ja vaba aja skoorid ning kehalise aktiivsuse indeks vanusegruppide järgi (* $p \leq 0,05$, ** $p \leq 0,01$) **Figure 1.** Participants' work, sports, and free time scores, and physical activity index by age group according to the *Baecke Physical Activity Questionnaire* (* $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.01$)

Joonisel 1 selgus, et vanematel kui 60 aastastel uuritavatel oli väiksem kehalise aktiivsuse indeks kui 30 – 39 ($p = 0,03$) ja 40 – 49 aastastel ($p = 0,02$) uuritavatel. Samuti oli vanematel kui 60 aastastel väiksem töö skoor kui 22 – 29 ($p = 0,04$), 40 – 49 ($p = 0,05$) ja 50 – 59 aastastel ($p = 0,01$) uuritavatel. Ka spordi skoor oli eakamatel (≥ 60 aastastel) vaatlusalustel väiksem kui 22 – 29 ($p = 0,01$), 30 – 39 ($p = 0,002$) ja 40 – 49 aastastel ($p = 0,01$) uuritavatel. Vaba aja skoor oli 22 – 29 aastastel uuritavatel väiksem kui 40 – 49 ($p = 0,04$) ja 50 – 59 aastastel ($p = 0,02$) uuritavatel.

Uuritavate töövõime hindamiseks kasutati WAI küsimustikku. Joonisel 2 on toodud uuritavate töövõime.

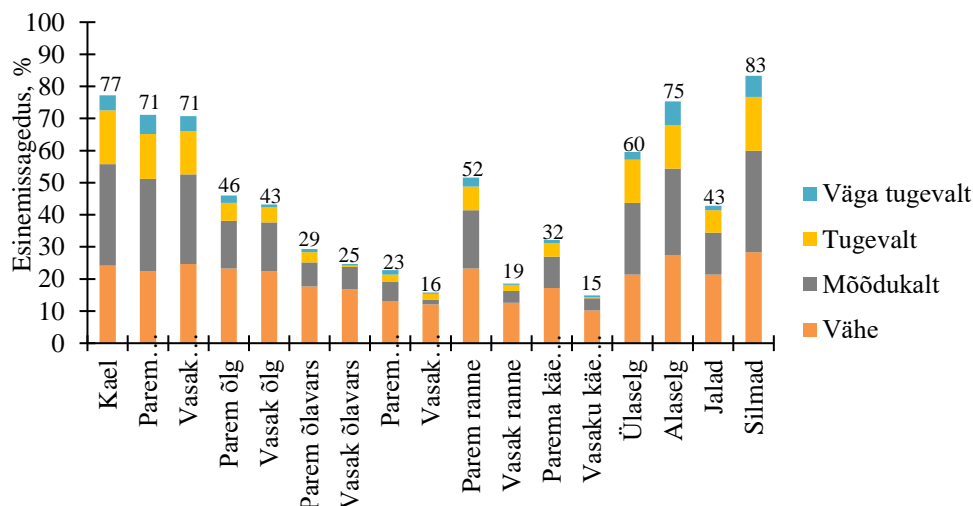


Joonis 2. Töövõime indeks naiskontoritöötajatel ($n = 215$)

Figure 2. Office workers' Work ability index in female office workers ($n = 215$)

Suurel osal vastajatest (62,33%) on „hea“ töövõime. Kõige vähem esines töötajatel „madalat“ töövõimet – vaid 1,86% uuritavatel. „Suurepäraselt“ töövõimet esines kõige rohkem 22 – 29 aastaste uuritavatel. Uuritavate keskmine töövõime WAI alusel oli „hea“ (skoor \pm SD: $38,07 \pm 5,44$). Lisaks selgus tulemustest, et töötajad, kes on oma tööga rahul, neil on suurem töövõime, kui neil, kes ei ole oma tööga rahul ($p = 0,018$). Töövõime hakkas langema 60 – ndates eluaastates.

Skeleti-lihasvaevuste esinemine viimase kuu jooksul erinevates keha piirkondades on toodud joonisel 3.



Joonis 3. Skeleti-lihasvaevuste esinemine erinevates keha piirkondades ja silmade pinget viimase kuu jooksul naiskontoritöötajatel ($n = 215$)

Figure 3. The appearance of musculoskeletal disorders and the eye pressure in the last months in different areas of the body in female office workers ($n = 215$)

Skeleti-lihasvaevustest esines uuritavatel viimase kuu jooksul kõige rohkem väga tugevat valu alaseljas (7,44%) ning paremas trapetslihas (6,05%). Väga tugevat silmade pinget esines 6,52% uuritavatel. Tugevat ning mõõdukat valu oli enim esinenud silmades, kaelas ning paremas trapetslihas. Valusid oli kõige vähem esinenud vasaku käe sõrmedes, vasakus randmes ning küünarvarres. Lisaks selgus, et kehamassiindeksi suurenedes, suurenevad ka valud vasakus õlas ($p = 0,019$), paremas õlavarres ($p = 0,05$), vasakus randmes ($p = 0,011$), parema käe sõrmedes ($p = 0,05$) ning vasaku käe sõrmedes ($p = 0,001$).

Viimase kuue kuu jooksul oli esinenud enim valusid alaseljas (51,16%) ja kaelas (51,16%). Sama tendents esines ka viimase seitsme päeva valude kohta. Kõige vähem oli valusid esinenud küünarliigeses, nii viimase kuue kuu kui ka seitsme päeva jooksul. Selgus, et uuritavatel, kellel oli mitteergonoomiline töökoht, oli statistiliselt rohkem valusid alaseljas ($p = 0,025$), randmes ($p = 0,017$) ning kaelas ($p = 0,006$), kui neil, kellel oli ergonoomiline töökoht. Kolmandikul uuritavatel (38,60%) tekkisid alaseljavalud tasapisi süvenedes. Äkiliselt tööl hakkasid alaseljavalud 5,58% ning ajal, mil ei olnud tööl 13,95% uuritavatel. Viimase kuue kuu jooksul oli alaseljavalu levinud jalga 26,51% ning viimase seitsme päeva jooksul 7,91% uuritavatel. Alaseljavalud olid 7,44% uuritavatel teinud raskeks majapidamistööde tegemise, 4,65% riietumise ning 3,26% varbakünte lõikamine. Kaelavalud olid samuti raskendatud majapidamistööde (5,58%) ning riietumist (4,65%). Pudelite avamist oli raskendanud valud randmes (8,37%) ning küünarliigeses (0,97%). Põlvevalude esinemine oli teinud uuritavate jaoks raskeks kõndimise nii trepist (7,91%) kui ka tasasel pinnal (5,12%). Terviseprobleemidest oli uuritavatel viimase seitsme päeva jooksul enim esinenud üldist nõrkust ja peapööritust (43,26%), tuimust või torkeid kehaosades (24,65%) ning kuuma-ja külmahooge (21,86%). Kõige vähem oli esinenud valu südames ja rindkeres (15,81%) ning lihaste nõrkust (17,67%).

JÄRELDUSED

Naiskontoritöötajatel esineb skeleti-lihasvalusid rohkem alaseljas, kaelas, õlgades, ülajäsemetes ja põlvedes. Need valud on enamasti seotud töökoha ebaergonoomilise kujunduse ja suure kehamassiindeksiga.

Sportiga tegelevad ligikaudu pooled kontoritöötajad, kusjuures sportimise aktiivsus väheneb vanuse kasvades, kuid seevastu on vanematel töötajatel (üle 40 – eluaasta) vabal ajal suurem aktiivsus.

Naiskontoritöötajatel on keskmine töövõime “hea”, seejuures olulist langust täheldati alates 60 – ndast eluaastast.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] **Habib, M. M., Yesmin, S., Moniruzzaman, S.** (2015). A pilot study of prevalence and distributions of musculoskeletal symptoms (MSS) among paper based office workers in Bangladesh. *Work-a journal of prevention assessment & rehabilitation*. Vol. 50, pp. 371 – 378.
- [2] **Macedo, A. C., Trindade, C. S., Brito, A. P., Dantas, M. S.** (2010). On the Effects of a Workplace Fitness Program upon Pain Perception: a Case Study Encompassing Office Workers in a Portuguese Context. *Springer*. Vol. 21, pp. 228 – 233.
- [3] **Kikuchi, H., Inoue, S., Odagiri, Y., Inoue, M., Sawada, N., Tsugane, S.** (2015). Occupational sitting time and risk of all-cause mortality among Japanese workers. *Scandinavian Journal of Work Environment & Health*. Vol. 41, pp. 519 – 528.
- [4] **Ribera, A. P., Lemos, I. M., Garriga, M. G., Gonzalez-Suarez, A. M., Roig, J. B., Fortuno, J., Munoz-Ortiz, L., McKenna, J., Gilson, N. D.** (2015). Self-reported sitting time and physical activity: interactive associations with mental well-being and productivity in office employees. *BMC Public Health*. Vol 15, pp. 1 – 10.
- [5] **Sirge, T., Ereline, J., Kums, T., Gapeyeva, H., Pääsuke, M.** (2016). Prevalence and localization of musculoskeletal strain in female office workers. – *Publications of the University Eastern Finland. Report and Studies in Health Sciences* 22. Vol. 276, pp. 160 – 163.
- [6] **Luttmann, A., Schmidt, K. H., Jäger, M.** (2010). Working conditions, muscular activity and complaints of Office Workers. *International Journal of Industrial Ergonomics*. Vol. 40, pp. 549 – 559.
- [7] **Ardahan, M., Simsek, H.** (2016). Analyzing musculoskeletal system discomforts and risk factors in computer-using office workers. *Journal Of Medical Sciences*. Vol. 32, pp. 1 – 5.

Madalpingevõrgu pingeprobleemi lahendamine lisaseadmega

K. M. Põldsam, T. Peets

Estonian University of Life Sciences, Institute of Technology, Department of Energy Engineering

Abstract. The aim of this paper is to compare different devices which can boost voltage when the voltage has dropped significantly at the end of the feeder and see if they can be used. The devices that were compared are line-active UPS, Magtech's magnetic voltage booster and Ashley-Edison's voltage regulator with smooth output. It was determined that Ashley-Edison's voltage regulator suits the best with the given circumstances amongst the others.

Keywords: UPS, voltage drop, voltage booster, voltage regulator, distribution grid

SISSEJUHATUS

Ideaalses olukorras ei oleks toitepingel mitte ühtegi kõrvalekallet järgmistest omadustest: toitepinge sagedus 50 Hz, toitepinge suurus alati 230/400 V, hälbed nimipingest puuduvad, katkestusi ei esine, harmoonilised moonutused puuduvad ning faasipinged oleksid sümmeetrilised. Tegelikult sellist ideaalset olukorda ei esine. Toitepinge kvaliteet halveneb alajaamast järjest kaugemale minnes ning pikkade liinide otsas olevad tarbijaid võib see häirima hakata [1].

Kõige tähtsamaks toitepinge parameetrik energiatarbimise seisukohast loetakse pinge suurust kuna sellest sõltub tarbitav vool ja võimsus. Peamiselt väljenduvad pinge probleemid kodutarbijatel näiteks kütte – ja jahutusseadmete, pumpade, köögiseadmete, arvutite ning valgustite töö katkestuse, rikete või talitluse häiretena [2].

Madalpinge võrkude puhul, kuhu on võrguettevõtja oluliselt investeerinud, et parandada võrgu seisukorda, näiteks vahetanud paljasjuhtmelise õhuliini kaasaegse rippkeerdkaabli vastu ning rekonstrueerinud alajaama, kuid siiski pole sellest piisanud pingeprobleemide lahendamiseks tuleks uue madalpinge alajaama tarbijale lähemale ehitamise asemel kaaluda seadmete kasutamist mis parandavad pingekvaliteeti. Tavaliselt on majanduslikult otstarbekam tegeleda probleemiga madalamal tasemel ehk tarbijale lähemal [2].

Käesoleva töö eesmärgiks on uurida erinevaid pingekvaliteeti parandavaid seadmeid ja leida, kas ja, millist neist oleks otstarbekas kasutada pikkade liinide lõpus olevate tarbijate toitepinge kvaliteedi parandamiseks.

MATERIAL JA METOODIKA

Uurimustöö objektiks, mille toitepinge kvaliteedi parandamise võimalusi uuritakse, on valitud ühepere eramu. Alajaamas, mille madalpingevõrgus valitud objekt asub, on 100 kVA võimsusega trafo. Tarbija asub alajaamast 1624 meetri kaugusel, mõõdetud mööda liinitrassi. Tarbija peakaitseme suuruseks on 3x20 A. Pingekaoks tarbija liitumispunktis on 11,6 %.

Vastavalt standardile EVS-HD 60364-5-52: 2011 „Madalpingelised elektripaigaldised. Osa 5-52: Elektriseadmete valik ja paigaldamine. Juhistikud“ on maksimaalseks lubatud pingekaoks 5% võrgu nimipingest [3].

Kirjeldatud objekti pingekvaliteedi hindamiseks on ainult toodud toitepinge kõrvalekalle võrgu nimipingest, teiste pingekvaliteedi parameetrite hindamiseks, nagu näiteks sagedus, harmoonikute moonutused ning toitepinge katkestused, andmeid ei ole. Seega loetakse uuritud lisaseadmed toimivateks kui suudavad uurimistöö objektil viia toitepinge suuruse standardiga vastavusse.

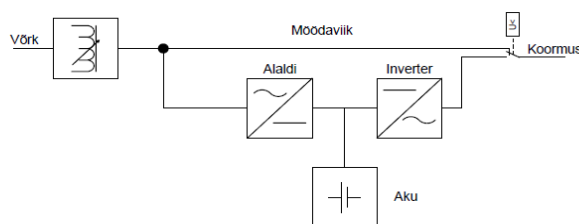
Uurimistöö käigus tutvuti erinevate seadmetega mis võiksid toitepinget tarbija liitumispunktis tõsta. Seadmed pidid olema ilmastikukindlad ning võimaldama paigaldust kliendi liitumispunkti lähedusse.

TULEMUSED JA ARUTELU

Üheks seadmeks, mis vastas etteantud kriteeriumitele on UPS – seadmed (*uninterruptible power supply*) ehk katkematud toiteallikad, nimetatud kui ka puhvertoiteallikad, on hetkel kõige enam levinud seadmed mis kasutavad toimimiseks akusid ning teisi energiasalvesteid. UPS seadmed on just tänu akudele võimelised lahendama rohkem pingeprobleeme kui näiteks pingestabilisaatorid. Pingeprobleemideks, mida UPS seadmed suudavad lahendada on näiteks pingelohus, katkestused, sageduse kõikumine ja pingemuhud [2].

Kasutusel on kolme tüüpi UPS seadmeid, nendeks on: 1) Lahus- või ootetalitluses UPS – see seade on võrgu pingest ja sagedusest sõltuv, 2) Liini – aktiivne UPS – see seade ei sõltu võrgu pingest, 3) Sidustalitluses UPS – see seade ei sõltu võrgu pingest ega sagedusest [2]. Uurimistöös kirjeldatud probleemi lahendamiseks sobiks kõige paremini liini – aktiivne UPS seade.

Liini – aktiivsel ehk hübriid UPS seadmel ei sõltu väljundpinge amplituud sisendpinge amplituudist. Liiniaktiivne UPS seade koosneb üldjuhul alaldist, akudest ja inverterist ning lisaks võib omada korrigeerivat autotrafot või ferreesonantstrafot. Kui võrgupinge või võrgusagedus ületab sätestatud piire siis eraldatakse koormus võrgust ning lülitatakse aku toitele. Toide säilitatakse niikaua kui seda aku mahtuvus võimaldab või kuni võrgupinge on saavutanud normidele vastava väärtuse. Trafo puhul mähiseid automaatselt ringi lülitades on võimalik kompenseerida sisendpinget kuni $\pm 25\%$. Sellise seadmega liini-aktiivne UPS seade, suudab ilma akust reservtoidet kasutamata, töötada pideva ülepinge või alapinge tingimustes. Tõhusus tavaliselt vahemikus 96 – 98%. Liini-aktiivne UPS seade autotrafoga on toodud joonisel 1 [2].

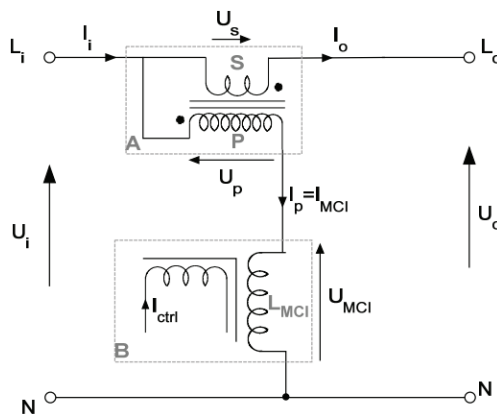


Joonis 6. Liini-aktiivne UPS seade autotrafoga. Allikas: [2]

Liini – aktiivne UPS seade lahendab pingekatkestuse probleemi, kestvus oleneb akude mahtuvustest. Stabiliseerib sisendpinget pingemuhkude ja pinge lohkude korral ning ka pideva alapinge korral. 30 kVA võimsusega seade maksab ligikaudu 5500 € ilma ilmastiku eest kaitsvate seadmeteta [2].

Järgmiseks seadmeks sobiks *Magtech AS* poolt välja töötatud magnetiline pingetõstja (*magnetic voltage booster, MVB*), milles kasutatakse nii nimetatud virtuaalset õhuvahemikku (*virtual air gap*) mis on magnetvoo reguleerimissüsteem, mis võimaldab hoida väljundis stabiilset pingetaset sõltumata sisendpinge muutumisest. Väljundpinget juhitakse alalisvooluga [2].

Tänu magnetiliselt kontrollitavale induktiivsusele (*magnetically controllable inductance, MCI*) saavutatakse sujuv pinge reguleerimine ilma liikuvate osadeta. See teeb magnetilisest pingetõstjast kiirelt reageeriva, robustse ning hooldevaba seadme, millel on pikk eluiga. MCI koosneb vasest ja rauast. Peamine vase mähis väljaspool pinge tõstmise ahelat tekitab vahelduvat magnetvoogu seadme südamikus. Seadme sees olev DC reguleerimis mähis tekitab pideva magnetvoo, mis on eelmisele risti. Alalisvoolu mähise tekitatav magnetvoog kontrollib induktiivsust peamises mähises. Seadmel on väga kõrge efektiivsus ning suur reguleerimise vahemik. Joonisel 2 on toodud ühefaasilise elektromagnetilise pingetõstja põhiskeem, kust on välja jäetud seadme juhtahelad [4].



Joonis 2. Magtech AS elektromagnetilise pingetõstja põhimõtteskeem. Allikas: [4]

Joonisel 2 on näha seade A, mis on autotrafo ning seade B, milleks on pinge reguleerimise ahel. U_i ja U_o on sisend- ja väljundpinge, U_p ja U_s on pinged mähistes ning U_{MCI} on muutuva induktiivsusega mähise pinge. I_i ja I_o on sisend- ning väljundvool, kus $I_p = I_{MCI}$ on näidatud mähiste vool. I_{ctrl} on alalisvool, millega juhitakse magnetvoogu. Väljundpinge U_o on alati sätestatud 235 V juurde seega muutuv sisendpinge U_i tuleb kompenseerida ahela omadusi muutes. Autotrafo ülekanalitegur on kindlalt paigas seepärast tuleb muuta L_{MCI} induktiivsust [4]. Tabelis 1 on toodud *Magtech AS* elektromagnetilise pingetõstjate tehnilised andmed.

Tabel 1. *Magtech AS* elektromagnetilise pingetõstjate tehnilised andmed. Allikas [2, 5]

Pingetõstja tüüp	MVB70-400	MVB160-400
Sagedus, Hz	50	50
Pinge, V	230/400	230/400
Koormus, kVA	30	70
Nimivool, A	40	100
Väljundpinge säte, V	235	235
Pinge tõstmine, %	0...+15	0...+15
Sümmeetriline koormus		
Pinge tõstmine, pinge vähendamine, %	0...28, 0...-7	0...28, 0...-7
Ebasümmeetriline koormus		
Reageerimisaeg, ms	150	200
Tühijooksukaod, W	180	220
THD, %	1-5	1-5
Efektiivsus, %	97-99	97-99
Hind, €	8100	9500

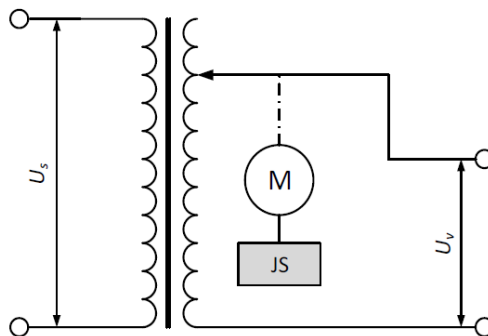
Nagu selgub tabelist 1 suurendab seade harmooniliste kogumoonutusi. Seda iseloomustatakse mittelineaarsetel tarvititel harmooniliste kogumoonutuste (*total harmonic distortion, THD_i*) kaudu [4].

Kuna Magtech'i pingetõstja on robustne ning ilma liikuvate osadeta on seadme tööiga eeldavasti 25 aastat. Seade sobib hästi pingetaseme parandamiseks pikkadel madalpinge liinidel. Lisaks pingeprobleemidele võimaldab seade lahendada ka liitumispunkti kaitsme rakendumise probleemi tõstes lühisvoolu [2].

Viimaseks seadmegrupiks, mida uuriti on elektromehaanilised ja elektroonilised pingestabilisaatorid. Pingestabilisaatorid koosnevad põhiliselt juhtahelast ja trafost, millel on muudetav väljundpinge. Pingestabilisaatoreid jagatakse kolme kategooriasse, jaotamine toimub väljundpinge muutmise moodusest, milleks on: 1) pingestabilisaatorid, mille väljundpinget muudetakse sujuvalt, 2) pingestabilisaatorid, mille väljundpinget muudetakse astmeliselt, 3) hübriidsed pingestabilisaatorid [2].

Uurimistöös kirjeldatud probleemi lahendamiseks sobiks kõige paremini sujuvalt muudetava väljundpingega pingestabilisaator.

Elektromehaaniline pingestabilisaator, millel on sujuvalt muudetav väljund kujutab endast pinget tõstvat trafot koos pöörleva liugkontaktiga. Trafo kontaktpinnal olevat liugkontakti asendit reguleeritakse servoajamiga mis sujuvalt muudav trafo ülekandetegurit. Joonisel 3 on toodud kirjeldatud pingeregulaatori lihtsustatud põhimõtteskeem [2].



Joonis 3. Sujuvalt muudetava väljundiga pingestabilisaatori põhimõtteskeem. Allikas: [2]

Kui joonisel 3 kujutatud väljundpinge U_v ei vasta etteantud piiridele siis muudetakse servomootoriga liugkontakti asendit sekundaarmähisel. Liugkontakti juhtimine toimub läbi juhtimissüsteemi JS ning seeläbi reguleeritakse väljundpinge väärtust [2].

Üheks ettevõtteks, kes toodab sujuvalt muudetava väljundiga pingeregulaatoreid on *Ashley Edison*. Selle ettevõtte seadmed võimaldavad kuni 40% nimipinge kõrvalekaldumisi stabiliseerida. Tehnoloogia reaktsiooniaeg on väga kiire ning tootja sõnul on seade praktiliselt hooldevaba. Tabelis 2 on toodud *Ashley Edison*'i ühe- ja kolmefaasilise pingestabilisaatori andmed [2].

Tabel 2. *Ashley Edison*'i ühe- ja kolmefaasilise pingestabilisaatori andmed. Allikas [2, 6]

Tüüp	OSSES-30H-S15	OSSES-30H-3P-S15
Faaside arv	1	3
Reguleerimis vahemik, %	± 15	± 15
Väljundpinge seaded, V	220, 230, 240	380/220, 400/230 või 415/240
Nimivõimsus, kVA	30	30
Väljundpinge regul. Täpsus, %	1	0,5
Kasutegur, %	98	98
Kaitseaste	IP54	IP54
Temperatuur, °C	-15...50	-15...50
THD, %	<1	<1
Hind, €	14995	8595

Selliste seadmete eeliseks on suur reguleerimistäpsus ning kuna väljundpinge reguleerimine toimub sujuvalt puuduvad järsud pingetõuked ja elektromagnethäired. Eelisteks on veel lühiajalise ülekoormamise võimalus, suur sisendpinge vahemik ning moonutuste vaba väljundpinge. Lisaks on seadmel kaitseüliti, üle- ja alapinge kaitse, piksekaitse ning möödaviigu lühti. Kui seade asetseb keskkonnas, mille temperatuur võib langeda alla 15° C on võimalik seadmele tellida lisasoojendi [6].

JÄRELDUSED

Uuritud seadmetest vastavad kõik kehtestatud nõuetele, et suudaks lahendada kirjeldatud objektil liialt suure pingekao probleemi. Autotrafoga UPS seade suudab lisaks pinget tõstmisele ka lühiajalisi katkestusi korvata kuid kui ainult pingekao probleemi silmas pidada ei oleks mõistlik akudega seadet

paigaldada. *Magtech AS* elektromagnetiline pingetõstja ning *Ashley-Edison'i* sujuvalt muudetava väljundiga pingetasandaja on hinna ja kasuteguri poolest sarnased kuid *Magtech'i* seade põhjustab suuremal määral harmoonikute moonutusi, mistõttu oleks parimaks seadmeks kirjeldatud objektil *Ashley-Edison'i* sujuvalt muudetava väljundiga pingetasandaja.

Täiendavalt oleks vaja uurida objekti kõiki pingeparameetreid, näiteks katkestuste arvu ja kestvust ning harmoonikute moonutusi siis saaks valida vastavalt kõigile pingeparameetritele vastavalt õige seadme. Hetkel on seadme valik tehtud vaid pingekao probleemi lahendamise näol.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] **T. Vinnal., A. Kilk.** (2013). Aruanne Nr 19062 - Toitepinge kvaliteet Eesti 0,4 kV madalpingevõrkudes ja tarbijapaigaldiste liitumispunktides. Tallinn: TTÜ [veebileht]
[\[https://energiatalgud.ee/img_auth.php/a/af/Toitepinge_kvaliteet_Toomas_Vinnal.pdf\]](https://energiatalgud.ee/img_auth.php/a/af/Toitepinge_kvaliteet_Toomas_Vinnal.pdf)
- [2] Uurimistöö LEP16048 Vahearuanne (2017). Alternatiivsete tehniliste lahenduste kasutamine pingeprobleemide lahendamisel madalpingevõrgus Tallinn: TTÜ. [veebileht]
https://www.elektrilevi.ee/doc/6305157/ettevotest/uuringud/pingeprobleemid_madalpingevorgus.pdf
- [3] Madalpingelised elektripaigaldised. (2011). Osa 5-52: Elektriseadmete valik ja paigaldamine. Juhistikud. Eesti standard EVS-HD 60364-5-52:2011. Tallinn: Eesti Standardikeskus. [veebileht]
<https://www.evs.ee/tooted/evs-hd-60364-5-52-2011>
- [4] **S. Ropoša1., G. Štumberger., D. Lestan., M. Rošer.** (2011). Application of voltage stabilizer in Slovenian low voltage grid. University of Maribor. [veebileht]
https://www.researchgate.net/publication/265152564_Application_of_voltage_stabilizer_in_Slovenian_low_voltage_grid?enrichId=rgreq-51463a30655ebf72dc86f0f0e0d6e8-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI2NTE1MjU2NDtBUzoxNjU2MjI2MjUzNDk2MzNAMTQxNjQ5ODkxOTQzMzQ%3D%3D&el=1_x_3&_esc=publicationCoverPdf
- [5] Magtech AS (s.a). Magtech Voltage Booster [veebileht]
http://www.magtech.no/userfiles/Model_overview_MVB_05.09.11_ENG.pdf
- [6] Ashley - Edison (s.a). Outdoor Servo Electronic AC Voltage Stabilisers [veebileht]
<https://www.ashleyedison.com/outdoor-servo-voltage-stabilizers-761/>

Kallurhaagise tagaluugi lukustuse lahendused

K. Pihlo, A. Aan

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

Abstract. This article is about different dumper trailers tailgate opening solutions and how to lock them as they are safe to use for the operator and easy to manufacture. In this article there is presented three different tailgate locking system and then they are compared to each other and also are highlighted the advantages and disadvantages of each locking system. To the received solutions the author brings out which solution would be the best.

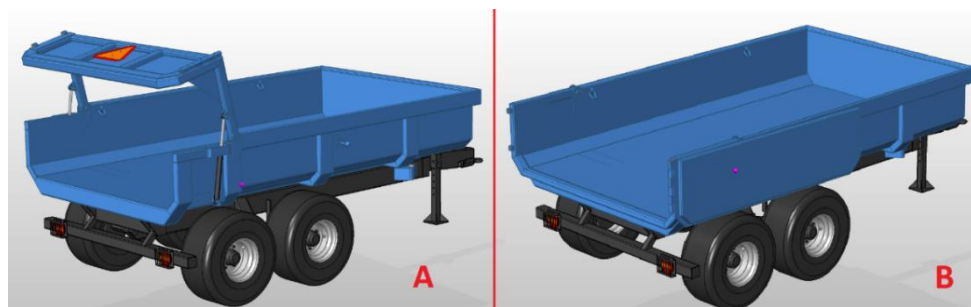
Keywords: Dumper trailer; tailgate, locking, safety.

SISSEJUHATUS

Tänapäeval valmistatud kallurhaagiste tagaluugid on enamasti lahendatud kahel viisil – hüdrauliliselt või mehaaniliselt avanev. Nii ühel kui teisel viisil on omad eelised kui ka puudused. Hüdrauliliselt avaneva tagaluugi miinuseks võib pidada seda, et veetavale materjalile või seadmele seatakse parameetrilised piirangud, mis tähendab seda, et näiteks ekskavaator või mõni muu ehitusmasin ei saa haagise kastile sõita. Teisalt on sellise lahenduse eeliseks see, et tagaluuki on mugav ja ohutu opereerida juhi kabiinist.

Mehaanilised tagaluugid avanevad nii pendlina üles kui ka uksena küljele, mis on funktsionaalsuse mõttes mitmekülgne, kuid turvalisuse seisukohalt ohtlik ja juhile ebamugav opereerida.

Neid kahte kombinatsiooni ühendades saadakse ideaalne kombinatsioon mugavuse ja funktsionaalsuse näol, kus tagaluuki on võimalik avada hüdrauliliselt üles, kui ka mehaaniliselt kõrvale (joonis 1).



Joonis 1. Kahesuunaline luugi avanemine; A – hüdrauliliselt üles, B – mehaaniliselt küljele.

Figure 1. Tailgate two way opening; A – up with hydraulic cylinder, B – Mechanically to the side.

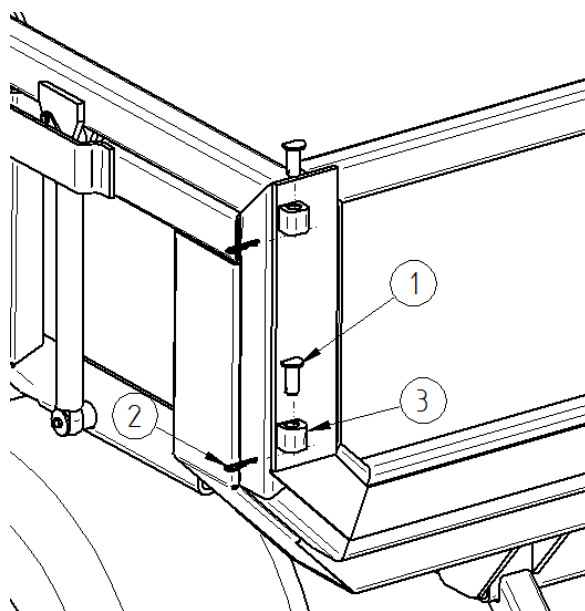
Kui ülesse avanevat suunda hoiab edukalt kinni hüdrosilinder, siis mehaanilise luugi kinnitamiseks on vajalik lisalukustus. Sellise tagaluugi lukustamiseks on aga mitmeid variante, mille projekteerimisel tuleks lähtuda seadme ohtusest ning tehnilisest lahendusest [1, 2].

Käesolevas artiklis uuritakse võimalikke lahendusi mehaanilise tagaluugi lukustamiseks. Artiklis pakutakse välja kolm võimalikku lahendust ning analüüsitakse nende turvalisust ning valmistamise keerukust.

METOODIKA

Järgnevalt analüüsitakse võimalikke lahendusi tagaluugi lukustamiseks. Selleks valiti välja kolm lahendust, mis oleksid tehniliselt lihtsad ja praktikas lukustus meetodina ennast tõestanud.

- 1) Tagaluugi lukustamiseks kasutada standardset sõrme (joonis 2).

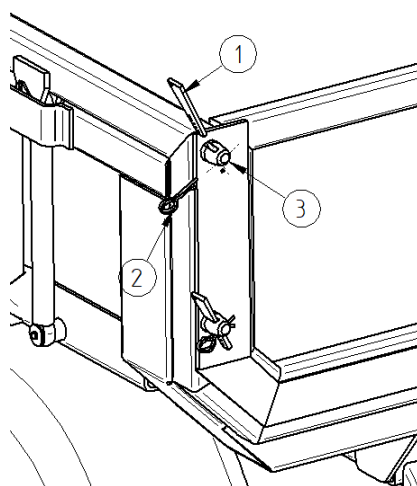


Joonis 2. Sõrmega lukustamine, kus 1 – Sõrm ISO 2341 – B – 20 x 40 St; 2 - Vedrulõhis 3 DIN 11024; 3 – puks.

Figure 2. Locking with shaft, where 1 – pin with head ISO 2341 – B – 20 x 40 St; 2 – Spring cotter pin 3 DIN 11024; 3 – bushing.

Lukustamiseks kasutatakse kahte standardset sõrme (1), mis käivad läbi raami külge keevitatud puksi (3) ning sõrme fikseerimiseks on kasutatud vedrulõhist (2).

2) Teine lahendus – lukustamine kiiluga (joonis 3).

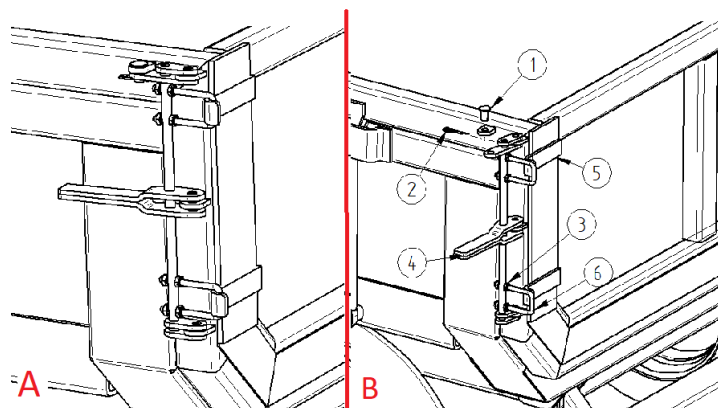


Joonis 3. Kiiluga lukustamine. 1 – kiil; 2 - Vedrulõhis 5 DIN 11024; 3 – fiksaator.

Figure 3. Locking with conical wedge. 1 – wedge; 2 - Spring cotter pin 5 DIN 11024; 3 – fixing bushing.

Lukustamiseks kasutatakse koonilist kiilu (1), mis on löödud läbi fiksaatori (3). Kiil on omakorda fikseeritud vedrulõhisega (2).

3) Kolmas lahendus – klambriga lukustamine (joonis 4).



Joonis 4. Klambriga lukustamine, kus A – kinnine asend, B – Avatud asend; 1 - Sõrm ISO 2341 – B – 16 x 30 St; 2 - Vedrulõhis 3 DIN 11024, 3 – Mutter M10 DIN 934; 4 – kang, 5 – lukustuse vastus; 6 – lukustusaas.

Figure 4. Locking with bracket, where A – locked position, B – open position; 1 - pin with head ISO 2341 – B – 16 x 30 St; 2 - Spring cotter pin 3 DIN 11024; 3 – nut M10 DIN 934; 4 – lever; 5 – fixing plate; 6 – locking hook.

Lukustamiseks on projekteeritud klambermehhanism. Kang (4) on projekteeritud võllile, mida tõmmates avanevad mõlemad lukustusaasad (6) korraga. Lukustusaasa fikseerivad mutrid (3), millega on võimalik pingsust reguleerida. Sõrm (1) ja vedrulõhis (2) on antud mehhanismi lisalukustused, mis hoiavad ära kangi iseenesliku avanemise.

TULEMUSED JA ARUTELU

Antud artiklis esitleti kolme erinevat kallurhaagise tagaluugi lukustamise varianti. Kõigil nendel variantidel on omad eelised ja puudused. Ohutuse seisukohalt on kõige parem kolmas lahendus, kus traktorist saab tagaluuki avada küljelt, kuid mis jällegi valmistamise seisukohalt on kõige aeganõudvam ning kulukam.

Valmistamise seisukohalt on kõige paremaks lahenduseks sõrmega lukustamine, kus töödeldavaid detaile on vähe ning kasutatud palju standardseid osi. Selle lahenduse puuduseks võib pidada, et aja jooksul ava kulub ning sõrme ja puksi vahel tekib lõtk, mille tõttu tuleb lukustust uuendada.

Kiiluga lahenduse puhul on välditud lõtku tekkimist, kuna kiil on kooniline, ning fiksaatori kuludes, saab kiilu sügavamale lükata. Nii kiilu kui sõrme lahendust puhul peab traktoristil olema lisaks abivahendid, millega kiil või sõrm avade sisse lüüa.

JÄRELDUSED

Igal lahendusel on omad eelised ja puudused, sõltuvalt sellest kui suur on tooteseeria, tuleks valida tagaluugi lukustamise viis. Kui tegemist on seeriatootmisega, siis oleks mõistlik kasutada klambriga lukustamist, sest seeriatootmisega hoiaks kokku ajakuludelt ning detaile valmistatakse mitmeid.

Üksiktootmiste puhul oleks mõistlik kasutada võimalikult standardiseeritud detailidega lahendust (sõrmega), kuna selliselt juhul ei ole tarvis väga erinevaid detailide töötlusi.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] C. Taylor, “*Innovative trailer by Melbourne tipper manufacturer MaxiTrans Aussie first*“ [Online]. Available: <https://www.weeklytimesnow.com.au/machine/innovative-trailer-by-melbourne-tipper-manufacturer-maxitrans-an-aussie-first/news-story/80a4f26ad42fa6e8860b513fb7975fe6>. [Accessed 26.03.2018]
- [2] D.J. Murphy; W. C. Harshmann, “*Farm Dump Truck and Trailer Safety*“. [Online]. Available: <https://extension.psu.edu/farm-dump-truck-and-trailer-safety>. [Accessed 26.03.2018]

CFD meetodi rakendamine pneumaatilise klapi analüüsiks

K.Türk, M.Madissoo

¹Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

Abstract. Using CFD analysis for valve analysis can provide many benefits such as lowering prototyping costs, adding design intelligence and allowing for rapid prototyping. The main purpose of this article is to study how to setup and perform digital prototyping studies for valve systems to reduce the need for physical prototypes.

Keywords: *CFD, pneumatics, valve design, control valves, digital prototypes.*

SISSEJUHATUS

Artikkel keskendub *CFD (Computational Fluid Dynamics)* analüüsi võtetele ja nende rakendustele pneumaatiliste sõlmede analüüsimiseks. [1] Uuritakse pneumaatiliste sõlmede läbilaskevõime hindamiseks kasutatavaid standardeid meetodeid ning kuidas neid võtteid rakendada tehnilistele lahendustele digitaalse prototüüpimise käigus.

Töö eesmärk on töötada välja meetodika klapisüsteemide digitaalseks uurimiseks MTÜ Tehnikaüliõpilaste Seltsi projekti „Pneumobiil 2018“ raames konstrueeritava võistlussõiduki „Technics 4“ alternatiivse klapisüsteemi modelleerimise tarbeks. Analüüsiks kasutatakse Mentor Graphics Corporation'i tarkvara FloEFD. Tarkvara on integreeritud nii joonestustarkvaradesse Solid Edge, Solidworks, Catia, NX, Creo, kuid on ka kasutatav eraldiseisva programmina. Tarkvara kohta on laialdaselt levinud internetipõhist õppematerjali, mis võimaldab valitud tarkvara paketti efektiivselt ära kasutada. Taoline lähenemine võimaldab vähendada füüsiliste prototüüpide vajalikkust, välistades aegsasti nii vähem efektiivseid kui ka tehnilisi nõudmisi mitterahuldavaid lahendusi.

MATERIAL JA METOODIKA

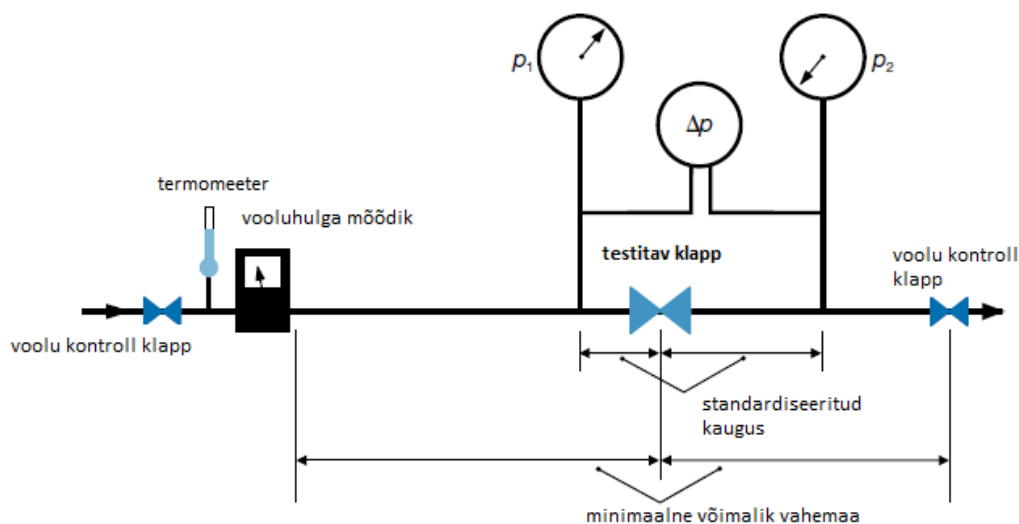
CFD analüüs on lõplike elementide meetod ning vedelike mehaanika osa, mille abil on võimalik analüüsida vedelike, gaaside voolamisega ja soojusülekandega seotud protsesse, mis võimaldab senini standardselt füüsiliste prototüüpide abil sooritatud katseid läbi viia digitaalselt.

Kuna gaas on kokku surutav, ei saa läbilaskevõime hindamiseks kasutada üldistatud Bernulli võrrandeid. Gaasi voolamist läbi takistuse saab kirjeldada läbi kolme režiimi – madalarõhulangu režiim, maksimaalse vooluhulga režiim ning kõrgerõhulangu režiim. Vastavalt režiimile kirjeldavad olukorda erinevad võrrandid [2].

Klappide läbilaskevõime hindamiseks vastavalt ANSI/ISA-S75.02-1996 ja ISA-75.01.01-2007 standarditele on vaja mõõta:

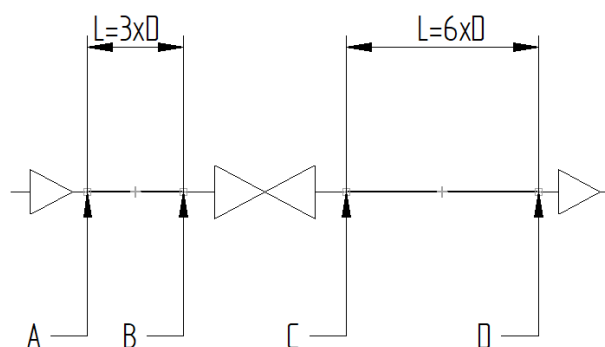
1. Vooluhulka, $Q=[\text{NL}/\text{min}]$;
2. Rõhk enne ja pärast klappi, $p=[\text{bar}]$;
3. Gaasi temperatuuri, $t=[^{\circ}\text{C}]$.

Katsete sooritamise standardipärane põhimõtteskeem on esitatud joonisel 1. [3] [4] [5]



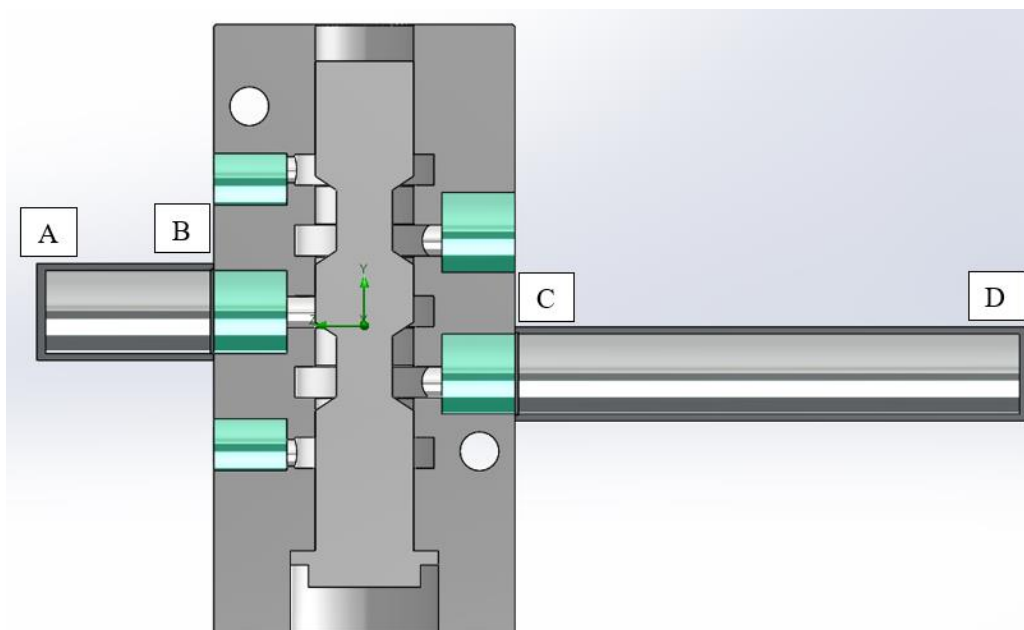
Joonis 1. Klapi läbilaskevõime hindamise põhimõtteskeem. Allikas: [5]

Gaasi voolamise ühtlustamiseks peab voolu allikas asuma klapi sisselaskest kolme sisselaske avaläbimõõdu ning väljalase 6 väljalaske avaläbimõõdu kaugusel keskkonnast. Katseskeem on esitatud joonisel 2.



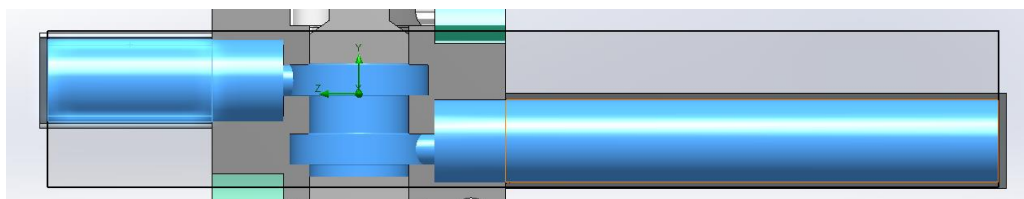
Joonis 2. Analüüsi katseskeem, A- sisselase, B- klapi sisselase, C- klapi väljalase, D-väljalase. Allikas: [4]

Digitalse katseseeria ülesseadmiseks tuleb mudelikeskkonnas luua klappi kirjeldav 3D mudel, mis on esitatud joonisel 3. Mudelit lihtsustatakse, eemaldades ebaolulised raadiused ja faasid, mis simulatsiooni tulemust ei mõjuta, kuid tõstaksid analüüsimise keerukust, pikendades arvutuste aega.



Joonis 3. Analüüsitava klapi 3D mudel. A- sisselase, B- klapi sisselase, C- klapi väljalase, D- väljalase.

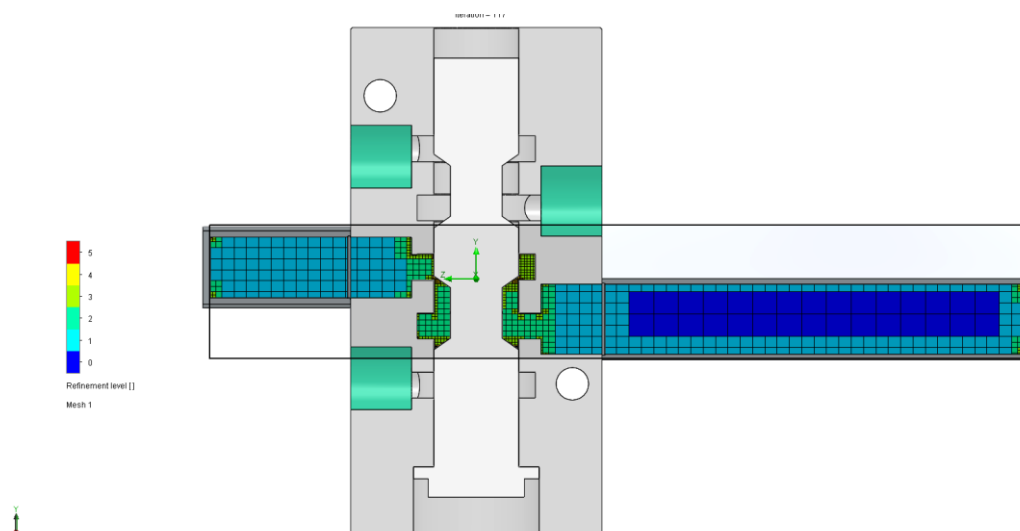
Järgneva sammuna defineeritakse ära simulatsiooni domeen ning vedeliku/gaasi domeen, eesmärgiga kaasata arvutustese vaid vajalik osa mudelist, mis on kujutatud joonisel 4.



Joonis 4. Simulatsiooni domeeni ning vedeliku/gaasi domeeni mudel.

Vastavalt mudelile ning etteantud parameetritele koostab arvutustarkvara simulatsiooni maatriksi, mis on esitatud joonisel 5. Maatriksile on rakendatud automaatsed filtrid mudeli täpsustamiseks piirkondades, kus üldistatud maatriksi suurus ei rahulda detailide vahelise kauguse ning keerukuse tõttu piisavat täpsust. Kuna maatriksi suurusest (elementide arvust maatriksis ning naaber elementide hulgast) sõltub arvutuste kestvus (sõltub vajalike võrrandite hulk arvutuste sooritamiseks).

Arvutuste sooritamisel kasutatakse numbrilist arvutus meetodit, mistõttu arvutatakse mitmeid iteratsioone kuni soovitud funktsioonide väärtuste stabiliseerumiseni. Seetõttu on efektiivsuse saavutamiseks oluline arvutusmaatriksi struktuur ning suurus.

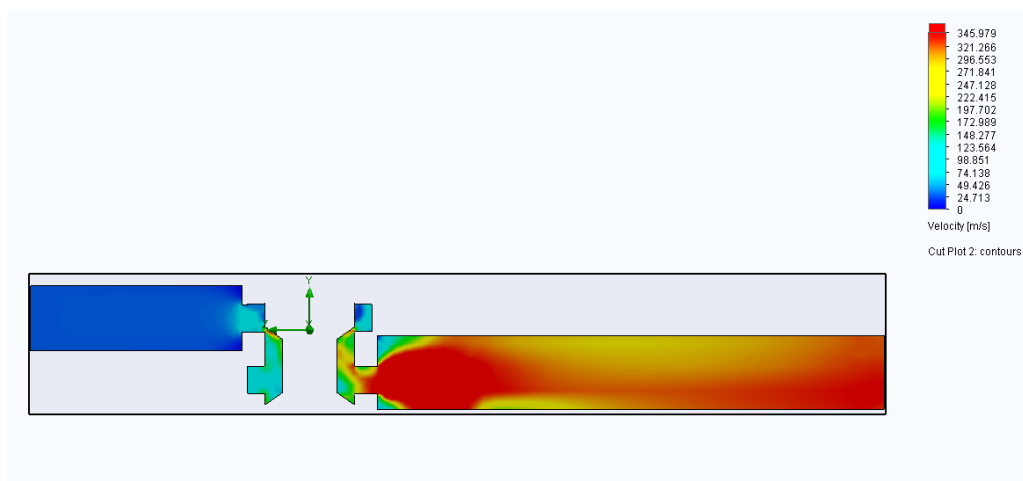


Joonis 5. Simulatsiooni maatriksi graafiline mudel.

Järgneva olulise sammuna tuleb defineerida sisselaske ning väljalaske keskkonna tingimused. Antud näite puhul defineeritakse sisselaske avasse rõhk 10bari keskkonna temperatuuril 20°C. Seatakse üles parameetriline uuringute seeria, kus väljalaskes muudetakse keskkonna rõhku vahemikus 1...9 bari sammuga 1 bar. Defineeritakse joonistel 2 ja 3 näidatud punktide A, B, C ja D ristlõiked ning mõõdetakse ristlõigete keskmiseid väärtuseid eelnimetatud parameetrite näol.

TULEMUSED JA ARUTELU

Parameetriline uuring võimaldab simuleerida erinevaid stsenaariume väljutades ühtse kogumina simulatsiooni tulemustena arvatatud parameetrite väärtused kui ka simulatsiooni ristlõigete graafilised representatsioonid. Võimalik on kuvada ristlõiget läbivaid füüsikalisi suuruseid nagu näiteks gaasi kiirust, *machi* numbrit, rõhku, tihedust jne. Joonisel 6. on esitatud klapi ristlõiget läbiva gaasi kiirus.



Joonis 6. Klapi ristlõiget läbiva gaasi kiirus.

Vooluhulga arväärtused punktides A, B, C ja D on esitatud tabelis 1.

Tabel 1. Vooluhulga arväärtused normaalliitrites minutis.

Rõhk ristlõikes D bar	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	16304,7	16297,0	16299,0	16198,0	15833,9	15053,4	13749,6	11778,8	8715,5
B	16422,4	16413,4	16418,1	16315,7	15947,5	15160,7	13848,6	11864,6	8777,5
C	17197,5	17168,8	17168,2	16661,0	15858,3	14848,8	13452,2	11480,6	8480,8
D	16432,5	16457,5	16522,6	16218,6	15844,0	15056,1	13751,1	11779,4	8715,7
KESKMINE	16589,5	16584,5	16602,3	16348,3	15871,5	15030,5	13700,4	11726,6	8672,5

Lähtuvalt kogutud andmetele on võimalik sooritada soovitud standardijärgseid arvutusi ning modifitseerida prototüüpi, et jõuda ettenähtud tulemuseni. Kuna antud meetodi puhul modelleeritakse katseobjekt ning teostatakse simulatsioonid samas keskkonnas on vajalike muudatuste valideerimine kiire ning lihtne kuna see ei eelda simulatsiooni uuesti ülesseadmist. Katseandmete põhjal on võimalik koostada graafikud ja arvutused, kas otse FloEFD keskkonnas või ekspordituna MS Exceli keskkonda.

JÄRELDUSED

Püstitatud eesmärk täideti, mille tulemusena jõuti tegevuskavani pneumaatiliste klappide digitaalseks prototüüpimiseks. Antud meetod vähendab prototüüpimise aega ning maksumust (puudub vajadus toota füüsilisi prototüüpe). Antud meetod ei asenda täielikult füüsilisi katsetusi, mis on vajalikud simulatsiooni tulemuste valideerimiseks. Meetod võimaldab väheste modifikatsioonidega simulatsiooni seadistusele uurida erinevaid tsernaariume. Samuti on võimalik ühe uuringu tulemusena väljutada mitmeid erinevaid parameetreid

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] J. F. Wendt, Computational Fluid Dynamics, 1995.
- [2] M. S. James A. Davis, „Predicting Globe Control Valve Performance—Part I: CFD Modeling“, ASME, 2002.
- [3] ISA, Control Valve Capacity Test Procedures, ISA, 1996.
- [4] ISA, Flow equations for sizing control valves, ISA, 2007.
- [5] Swagelok, „www.swagelok.com“, swagelok, 12 2007. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.swagelok.com/downloads/webcatalogs/EN/MS-06-84.PDF>. [Kasutatud 12 11 2017].

Masinatööstusettevõtte tootmistsehhi töötajate töö raskusaste ja energeetiline koormatus

Level of work difficulty and energetic load of machinery industry shop-floor employees

L. Juhanson, B. Reppo

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiaste õppetool

Abstract. The metal industry has the largest occupational accidents in Estonia which are increasing. That's why it is important to assess the employee's level of work difficulty and energetic workload. The aim of this study is to assess the level of work difficulty and energetic load of machinery industry shop-floor employees. Based on the aim of the study, following tasks were set: 1) measure workers heart rate during workday, and 2) based on the results to assess the level of work difficulty as well as energetic load of machinery industry shop-floor employees. Eight men's heart rate was measured with "Polar tester" method. Subjects were three machine builders, two turners and three welders. Based on the measured heart rate, results showed that all the participants have light to moderate work difficulty. Additionally, working during the night shift was easier than during the day shift for turner.

Key words: machinery industry, machine builder, turner, welder, heart rate tester, computer

SISSEJUHATUS

Metallitööstus on suurima tööõnnetuste arvuga tegevusala Eestis. Samuti on tööõnnetuste arv viimastel aastatel tõusvas trendis – 2011. aastal oli 353 ja 2015. aastal 533 tööõnnetust (neist kergeid tööõnnetusi 434, raskeid 96 ja surmaga lõppenud tööõnnetusi 3) [1]. Töötervishoiu ja tööohutuse seaduse kohaselt peab tööandja kujundama ja sisustama töökoha nii, et oleks võimalik vältida tööõnnetusi ning säilitada töötaja töövõime [2]. Eriti oluline on see metallitööstuses, kuna seal tundub töövõime [3] väiksem olema ning seetõttu, et metallitööstuses on töötajatel kõige suurem oht saada tööga seotud tervisekahjustusi [4]. Energeetiline koormatus ehk energiakulu on energia hulk, mida inimese organism vajab teatud ülesannete sooritamiseks [5]. Südame löögi sageduse mõõtmist dūnaamilise kehalise võimekuse ajal saab kasutada töötaja töökoormuse määramiseks ja vastupidavuse hindamiseks [6]. Eestis on metallitööstuse töötajate energeetilist koormatust uuritud vähe – 2012. aastal on uuritud metallitööstusettevõtte metallitsehhi pingitöötaja töövõimet [7].

Antud uuringu eesmärgiks oli masinatööstusettevõtte tootmistsehhi töötajate (keevitajate, treialite, koostelukkseppade) töö raskusastme ja energeetilise koormatuse määramine. Eesmärgist lähtuvalt olid pūstitatud jūrgmised ülesanded: 1) töötajate südame lööki sageduse mõõtmine tööpäeva vāltel; 2) saadud tulemuste alusel töötajate töö raskusastme ja energeetilise koormatuse määramine ning analūis.

MATERJAL JA METOODIKA

Uurimistöö viidi läbi masinatööstusettevõttes, mille toodanguks on masinad ja seadmed (mullaharimis- ja teehooldusmasinad, hooldusniidukid, metsaveohaagised). Tsehhi töötajatest kaasati uurimusse meessoost kolm koostelukkseppa, kaks treialit ja kolm keevitajat. Uuritavatel määrati energeetiline koormatus Polar Tester meetodiga. Treialitel määrati energeetiline koormatus ka õhtuses vahetuses. Südame lööki sagedust mõõdeti pulsikelladega Suunto t6, Polar S610i ja Polar S625X. Pulsikell pandi uuritava randmele ja niisutatud pulsivöö rindkere ümber. Mõõtmistulemused salvestati viie ja kümne sekundilise intervalliga. Töötajad kandsid pulsikella terve tööpäeva vāltel.

Saadud suurima ja keskmise südame lööki sageduse alusel määrati töö raskusaste (tabel 1).

Tabel 1. Töö raskusastme liigitus südamelöökide sageduse (l/min) järgi. *Allikas* [8]

Table 1. Classification of work difficulty based on heart rate (bpm). Source [8]

Töö raskusaste	Pulss, lööki/min
Kerge	< 100
Keskmiselt raske	100...124
Raske	125...150
Väga raske	> 150

Summaarne energeetiline koormatus (S) määrati tabeli 2 [9] järgi, arvestades töötaja töö raskusastet, vanust ja sugu ning tabeli andmete alusel interpoleeritud kõvera järgi (joonis 1).

Tabel 2. Töö raskusastme liigitus meestel keskmise energiakulu (W) järgi sõltuvalt vanusest. *Allikas* [9]

Table 2. Classification of work difficulty based on average energy consumption among men in different age groups. Source [9]

Vanus, a	Keskmine energiakulu W				W_{\max} W
	kerge	keskmiselt raske	raske	väga raske	
20...29	...293	300...579	586...872	872...	1163
30...39	...272	279...544	551...816	816...	1088
40...49	...258	265...495	502...747	747...	996
50...59	...223	230...440	447...663	663...	884
60...69	...174	181...349	356...523	523...	697

Töötaja füsioloogia tarbeks vajatav energia (F) määrati meestel valemiga [10]:

$$F = 0,934 + 0,0400 \times G + 0,01454 \times H - 0,0196 \times V \text{ kJ/min}, \quad (1)$$

kus G on inimese mass kg;

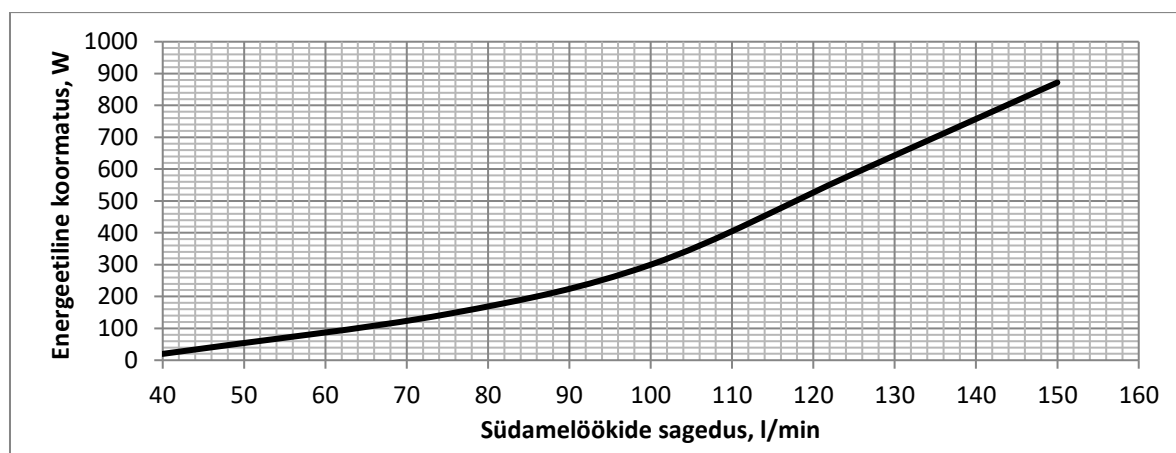
H – pikkus cm;

V – vanus aastates.

1 kJ/min = 16,67 W.

Töötaja otseselt tööks kuluv energia määrati valemiga [10]:

$$T = S - F \quad \dots(2)$$



Joonis 1. Südamelöökide sageduse (l/min) ja summaarse energiakulu (W) vaheline seos 20–29.a. meestel.

Figure 1. Relation between heart rate (bpm) and total energetic load (W) among men in 20–29 years.

Andmete töötlemiseks kasutati arvutiprogrammi *Microsoft Office Excel 2010*. Mõõtmistulemuste statistiliseks analüüsiks kasutati aritmeetilise keskmise ja standardhälbe arvutamist.

TULEMUSED JA ARUTELU

Masinatööstusettevõttes läbi viidud uuringus osalesid kolm koostelukkseppa ja keevitajat ning kaks treialit. Uuritavate keskmine vanus oli 24,3 aastat ($SD \pm 2,9$).

Selgus (tabel 3), et südamelöökide keskmiste sageduste järgi oli kõikidel uuritavatel tegemist kerge kuni keskmiselt raske tööga. Suurima pulsi järgi oli kõikidel keevitajatel tegemist raske tööga, treialitel päevases vahetuses keskmiselt raske ja öhtuses vahetuses kerge tööga ning lukkseppadel keskmiselt raske kuni väga raske tööga. Seega treialitel osutus öhtuses vahetuses töö kergemaks kui päevases vahetuses.

Keevitaja 1 tegeles pool tööpäeva robotkeevitaja seadistamisega ja teise poole tööpäevast MIG/MAG-keevitamisega (joonis 2). Võrreldes keskmisi ja suurimaid südamelöökide sagedusi keevitajaga 2, kes tegi terve tööpäeva ainult MIG/MAG-keevitust, selgub, et südamelöökide sagedused on samasugused – keskmiselt 100 ja 101 lööki/min ning suurim 133 lööki/min. Seega töö raskusaste on ka robotkeevitajal keskmiselt raske kuni raske.

Tabelis 3 on esitatud kõikide uuritavate väikseimad, suurimad ja keskmised südamelöökide sagedused (lööki/min), töö raskusastmed ning energiaetilised koormatused (W) keskmise ja suurima pulsi järgi.

Tabel 3. Masinatööstusettevõtte tootmistsehhi töötajate töö raskusaste ja energiaetiline koormatus.

Table 3. Level of difficulty and energetic load of machinery industry shop-floor employees.

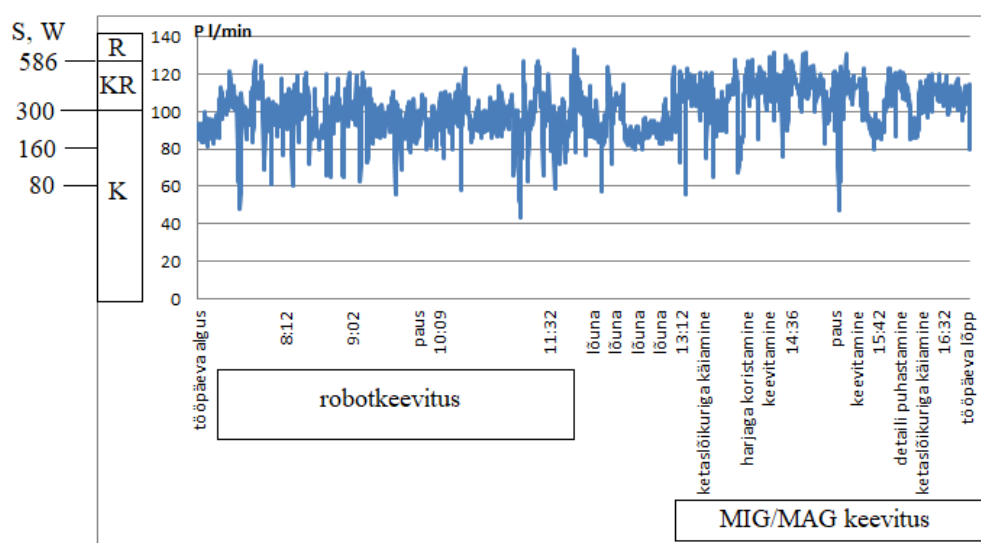
Näitaja	Lukksepp 1	Lukksepp 2	Lukksepp 3	Treial 1 PV	Treial 1 ÖV	Treial 2	Keevitaja 1	Keevitaja 2	Keevitaja 3
Vanus, a	24	26	29	26	26	23	25	20	21
Mass, kg	93	90	79	85	85	67	75	74	105
Pikkus, cm	189	174	179	180	180	182	178	174	185
Pulss, lööki/min									
- väikseim	42	55	79	40	45	57	43	69	66
- suurim	115	158	149	115	98	121	133	133	131
- keskmine	76	101	116	65	68	89	101	100	91
Energeetiline koormatus, W									
Keskmise pulsi järgi									
- summaarne, W	150	310	480	110	120	220	310	300	230
- füsioloogiline, W	116	114	111	107	107	97	101	101	124
- otseselt tööga, W	34	196	369	3	13	123	209	199	106
Töö raskusaste	K	KR	KR	K	K	K	KR	KR	K
Energeetiline koormatus, W									
Suurima pulsi järgi									
- summaarne, W	460	960	872	460	280	540	680	680	660
- füsioloogiline, W	116	114	111	107	107	97	101	101	124
- otseselt tööga, W	344	846	761	353	173	443	579	579	536
Töö raskusaste	KR	VR	R	KR	K	KR	R	R	R

Märkused:

1. PV – päevane vahetus.
2. ÕV – öhtune vahetus.
3. K – kerge
4. KR – keskmiselt raske.
5. R – raske.
6. VR – väga raske.

Kõige väiksem energeetiline koormatus keskmise pulsi järgi oli treialil päevases vahetuses (110 W) ja suurima järgi treialil öhtuses vahetuses (280 W). Töö raskusaste päevases vahetuses oli kerge kuni keskmiselt raske ja öhtuses vahetuses kerge. Kõige suurem energeetiline koormatus keskmise pulsi järgi oli lukksepal 3 (480 W) ja suurima järgi lukksepal 2 (960 W).

Tulemustest selgub, et suurima energeetilise koormatusega töötajad on lukksepad, mille põhjus võib olla seoses nende tööasendiga – töötaja peab kohandama ennast vastavalt monteeritavale detailile, nt töötama põlvili betoonpõrandal.



Joonis 2. Keevitaja 1 südamelöökide sageduse (P), töö raskusastme (K – kerge, KR – keskmiselt raske, R – raske) ja energeetilise koormatuse (W) muutus tööpäeva vältel.

Figure 2. Heart rate (P) with work difficulty (K – light, KR – moderate, R – heavy) and energetic load (W) of welder 1 during the day shift.

Jooniselt 2 selgub, et keevitaja pulss muutus tööpäeva vältel, jäädes vahemikku 43–133 lööki/min (keskmine pulss 101 lööki/min ja suurim 133 lööki/min). Keevitaja tööülesanneteks olid robotkeevitaja seadistamine, detaili puhastamine meisluga metallpripsmetest, ketasloikuriga käiamine ja keevitamine. Südamelöökide sagedus üle 120 löögi/min oli seotud ketasloikuriga käimisega ja keevitamisega. Pulss langes istudes, pausil ja lõunal olles. Summaarne energeetiline koormatus keskmise pulsi järgi oli 310 W ja suurima järgi 680 W ning töö raskusaste muutus keskmiselt raskest kuni raskeni.

JÄRELDUSED

Lähtuvalt uurimistulemustest võib järeldada, et masinatööstusettevõtte töötajate töö oli keskmise südamelöökide sageduse alusel kerge kuni keskmiselt raske. Suurima energeetilise koormatusega töötajad olid lukksepad (keskmiselt 764 W) ja väikseimaga treialid (keskmiselt 426,7 W). Vähendamaks lukkseppade töökoormust, tuleb betoonpõrandatele paigaldada kummimatid või puitrestid. Robotkeevitaja töö ei ole MIG/MAG-keevitaja tööst kergem – töö raskusaste oli keskmiselt raske kuni raske.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Tööinspektsioon. (s.a). Registreeritud tööõnnetused maakonna, tegevusala, soo, vanuse ning 100 000 töötaja kohta 2005–2015. [veebileht] <http://www.ti.ee/est/meedia-truekised-statistika/statistika/toeoeonnetused/>.
- [2] Töötervishoiu ja tööohutuse seadus. (vastu võetud 16.06.1999, viimati jõustunud 01.12.2015). – *Riigi Teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/126022015017?leiaKehtiv>.
- [3] Ilmarinen, J. (s.a.) Aktiivsena vananemise edendamine tööl. *European Agency for Safety and Health at Work*. [veebileht] <https://osha.europa.eu/et/tools-and-publications/publications/articles/promoting-active-ageing-in-the-workplace>.
- [4] Jüriso, L. (2016). Metallitööstuse sihtkontrolli kokkuvõte. *Tööinspektsioon*. [veebileht] https://www.ti.ee/fileadmin/user_upload/failid/dokumendid/Meedia_ja_statistika/Toeoetervishoiu_ja_toeoehutuse_jaerelvalve/METALLI_SIHTKONTROLL_2016_Meedia.pdf.
- [5] Kamalakannan, B., Groves, W., Freivalds, A. (2007). Predictive Models for Estimating Metabolic Workload based on Heart Rate and Physical Characteristics. – *Journal of Safety, Health and Environmental Research*. Vol 4, No. 1. http://www.asse.org/assets/1/7/spr07_feature03.pdf.
- [6] Koradecka, D. (2010). Handbook of Occupational Safety and Health. CRC Press. Taylor & Francis Group. 634 lk.
- [7] Joost, K. 2012. Metallitööstusettevõtte metallitsehhi pingitöötaja töökeskkond ja töövõime. Magistritöö. Eesti Maaülikooli tehnikainstituut. Tartu. 82 lk.
- [8] Andersen, K. L., Masironi, R., Rutenfranz, J., Seliger, V. (1978). Habitual physical activity and health. European Series No. 6. Copenhagen: World Health Organization, Regional Office for Europe. 188 lk.
- [9] Tuure, V.M. (1991). Maatilan töiden fyysisen kuormittavuuden määrittäminen. (Determination of physical stress in agricultural work). Helsinki.
- [10] Tuure, V.M. (1995). Työympäristö kylmissä pihatoissa. (Working environment in cold loose housing barns). Maatalousteknologian julkaisuja 18. Helsinki: Helsingin yliopisto maa- ja kotitalousteknologian laitos. 143 lk.

PID regulaatori häälestamine biomassi eeltöötlussüsteemile

Tuning of a PID regulator for the biomass pretreatment system

M. Keisk, V. Rooni, E. Jõgi

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Tootmistehnika osakond

Abstract. In modern industry the most widely used process control algorithm is a PID controller. PID is the abbreviation of the terms proportional, integral and differential. Each term formula consists of an amplifying gain, by which the system can be manually tuned. The system under observation consists of a biomass pretreatment reactor which is covered by a ceramic band heater. Biomass and distilled water are first poured inside the reactor and stirred. The reactor is then hermetically sealed, pressurized by adding gaseous nitrogen and then heated to the setpoint temperature of 150 °C. The setpoint temperature inside the reactor is maintained until the end of the incubation period. After the heating process finishes, the system is cooled to a temperature of 80 °C and then by opening the pressure valve, the pressure inside the reactor decreases rapidly, causing an explosion. Pretreated biomass is finally removed from the reactor.

Due to the thermal resistance of the liquid and the shell of the reactor, biomass inside the reactor heats up slowly. Making it a long delay system which is difficult to control because of dead time. In this article four experiments were conducted in order to find the optimal proportional, integral and differential gain values of the regulator. After each experiment the gain values were manually adjusted.

Keywords: PID controller, biomass pretreatment reactor, nitrogen explosion

SISSEJUHATUS

Tänapäeva tööstuses on enim kasutust leidvaks juhtimisalgoritmiks PID regulaator [1]. Lühend PID tuleneb sõnadest proportsionaalne, integraalne ja diferentsiaalne. Esimeseks teadusliku uurimusega PID regulaatoriks peetakse vene-ameerika inseneri Nicolas Minorsky poolt uuritud ja disainitud automatiseeritud laeva roolisüsteemi aastal 1922. Varem oli välja käidud PID tüüpi regulaatoreid, mis arvestasid mõõteväärtuse ja selle muutumise järgi hetke, eelnenud ning tuleviku vigu, kuid nendel puudus teoreetiline taust ning lasusid pigem intuiitiivsel ülesehitusel. Minorsky'l tekkis PID juhtimisalgoritmi idee vaadeldes roolimadrust, kes laeva roolis. Ta leidis, et madruse roolimise põhines hetke, eelneva ning ennustuslikul laeva suunamuutusel. Minorsky matemaatilise mudeli alusel kirjeldas proportsionaalne lüli väiksemate häirivuste parandamist, integreeriv lüli aja jooksul vea korrigeerimist näiteks tugevast tormituulest tuleneva vea tõttu ning diferentseeriv lüli laeva stabiilsuse ja juhtivuse parandamist. Kolme lüli summeerimisel saadakse väljundväärtus, mis Minorsky regulaatoril oli võrdne rooli pöördenurgaga [2].

Lihtsaimaks lüliks on proportsionaalne lüli, mille toime on proportsionaalselt võrdeline hetkevea suurusega, kus hetkeviga on näiteks mõõdetava temperatuuri erinevus seadetemperatuurist. Liiga kõrgelt valitud proportsionaalse lüli korral tekib ülereguleerimine (ingl. keeles *overshoot*). Liiga väikse proportsionaalse lüli korral jääb protsessis esinema staatiline viga (ingl. keeles *undershoot*), mille eemaldamiseks pole proportsionaalsel lülil piisavalt inertsit. Staatilise vea kaotamiseks kasutatakse proportsionaalse lüli kõrval integreerivat lüli (PI- regulaator), mille toimeks on eelnenud vigade summeerimise teel vea kaotamine. Integreeriva lüli negatiivseks küljeks on väljundi ülekoormamine, mille tulemusena toimub ülereguleerimine. Vigade akumulatsioonist tuleneva väljundi ülekoormamise vältimiseks tuleb integraator sisse lülitada protsessi kestel. Diferentseeriv lüli arvutab vea muutumise kiirust ehk teisisõnu ennustab protsessi kulgu ja üritab vea muutumist eemaldada olenemata seadeväärtusest [1].

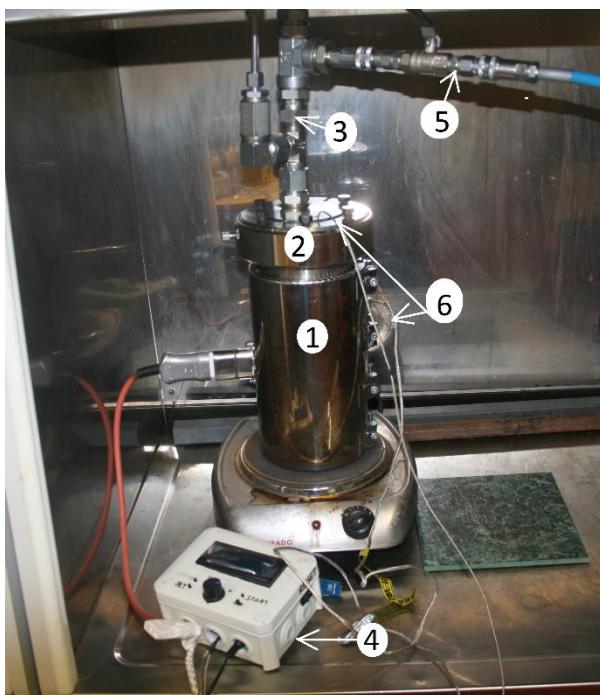
Iga lüli võimendiks on võimendustegur, mille väärtuse valimist mõjutab süsteemi reaktsioon väljundsignaalile. Võimendustegurite valimiseks on erinevaid meetodeid, näiteks saab teha süstematiseeritud PID häälestamist üldlevinud meetoditel nagu Ziegler-Nicholsi meetodil. Teiseks võimaluseks on koostada täpne matemaatiline mudel ning on olemas ka tarkvara programme, mille abil

saab regulaatorit häälestada. Neljandaks on manuaalhäälestus, kus igal katsel korregeeritakse võimendustegurite väärtuseid. Regulaatori manuaalhäälestamisel tuleb vastavalt protsessigraafiku muutustele korregeerida võimendustegureid. Käesoleva artikli eesmärgiks on vastavalt katsetel tekkivate protsessigraafikute muutustele korregeerida võimendustegureid, et leida optimaalsed väärtused, mis tagavad minimaalse ülereguleerimise [1].

MATERIAL JA METOODIKA

Uurimistöö viidi läbi EMÜ kütuste laboris. Protseduurina paigutati 100 g saepuru ja 700 ml destilleeritud vett 2 L mahuga biomassi reaktorisse. Reaktor suleti hermeetiliselt kinnituspoltide abil ning gaasilise lämmastiku lisamisel suurendati rõhk süsteemis 30 barini. Reaktori kuumutamine toimus välise vöökütteelemendi abil, mis kattis reaktori silinderpinna. Joonisel 1 oleva reaktori alla asetatud küttepliiti katsete käigus ei kasutatud. Pärast kuumutamist lasti reaktoril jahtuda, kuni sisetemperatuur langes 80 °C -ni. Kuulkraani avamisega tekitati süsteemis plahvatuslik rõhulangus ning töödeldud biomass eemaldati reaktorist. Kõrgemal temperatuuril plahvatus teostamine põhjustab soovimatut biomassi väljapaiskumist reaktorist.

Katsete läbiviimiseks kasutati magistritöö käigus projekteeritud ja ehitatud regulaatori prototüüpi, mis töötab integraalskeemil põhineva mikrokontrolleri abil. Biomassi eeltöötlusreaktori süsteem koosneb kahest K-tüüpi termopaarist, millest üks on paigutatud reaktori ja kütteelemendi vahele ning teine reaktori sees olevasse pesasse. Regulaatorile on programmeeritud algoritm, mille alusel köetakse reaktorit sisetemperatuuri saavutamiseks esmalt välistemperatuuri järgi proportsionaalselt-integreerivalt (PI). Katsete käigus kasutatakse kahte välist temperatuuri (edaspidi välistemperatuur) 165 °C ja 180 °C. Pärast reaktori sisest seadetemperatuuri (edaspidi sisetemperatuur) 150 °C saavutamist lülitatakse regulaator proportsionaalselt-diferentseerivale (PD) seadistusele ning kütmist jätkatakse sisetemperatuuri järgi. Sisetemperatuuri 150 °C hoitakse 20 minutilise inkubatsiooniaja vältel.



Joonis 1. Biomassi eeltöötlusreaktor. 1 – Kütteelement, 2 – reaktor, 3 – gaasitorustik, 4 – regulaator, 5 – gaasilise lämmastiku sisselaske toru, 6 – termopaar.

Fig. 1. Biomass pretreatment reactor. 1 – Heater, 2 – reactor, 3 – gas piping, 4 – regulator, 5 – gaseous nitrogen intake pipe, 6 – thermocouple.

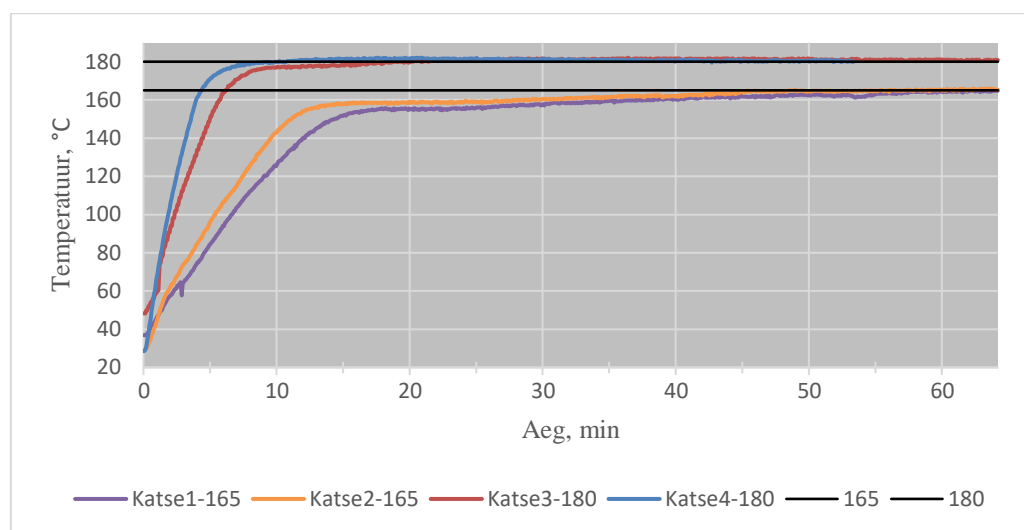
Reguleerimisprotsessi esimeses osas leitakse võimendustegurite väärtused PI-režiimil, kus kütmine toimub välistemperatuuri abil. Proportsionaalse ja integreeriva lüli koostoimel elimineeritakse

hetkeviga [1]. Väljundi kuhjumise vältimiseks alustatakse kütmist vaid proportsionaalse lüliga. Integreeriv komponent lülitatakse sisse 10 °C enne välistemperatuuri saavutamist.

Reguleerimisprotsessi teises osas leitakse sobivad võimendustegurite väärtused inkubatsioonaja kestel PD- režiimil töötades. Proportsionaalse ja diferentseeriva lüli koostoimel stabiliseeritakse sisetemperatuur [1].

TULEMUSED JA ARUTELU

Katsete tulemused PI- režiimil töötades on toodud joonisel 2 ja võimendustegurite väärtused tabelis 1. Katseid alustati ülekaalustatud proportsionaalse lüliga, et jälgida, kas süsteemis tekib ülereguleerimist. Kütmise kestel lisati madal integreeriv lüli, mis tagaks välistemperatuuri saavutamise. Jooniselt on näha, et ülereguleerimist ei esinenud, seega suurendati iga katsega integreerivat võimendustegurit.



Joonis 2. Reaktori välistemperatuuride muutus ajas katsetel 1-4.

Fig. 2. Reactor outside temperature change over time from experiments 1-4.

165 °C Katsetel ilmnes, et välistemperatuur saavutati alles 62 ja 45 minuti pärast. Kahel järgneval katsel suurendati välistemperatuuri ja võimendustegureid väärtusteni, mille puhul kasvas ülereguleerimine, kuid välistemperatuuri saavutamise aeg langes üheteistkümnemale minutile. Kõikidel katsetel jäi ülereguleerimine alla kahe kraadi.

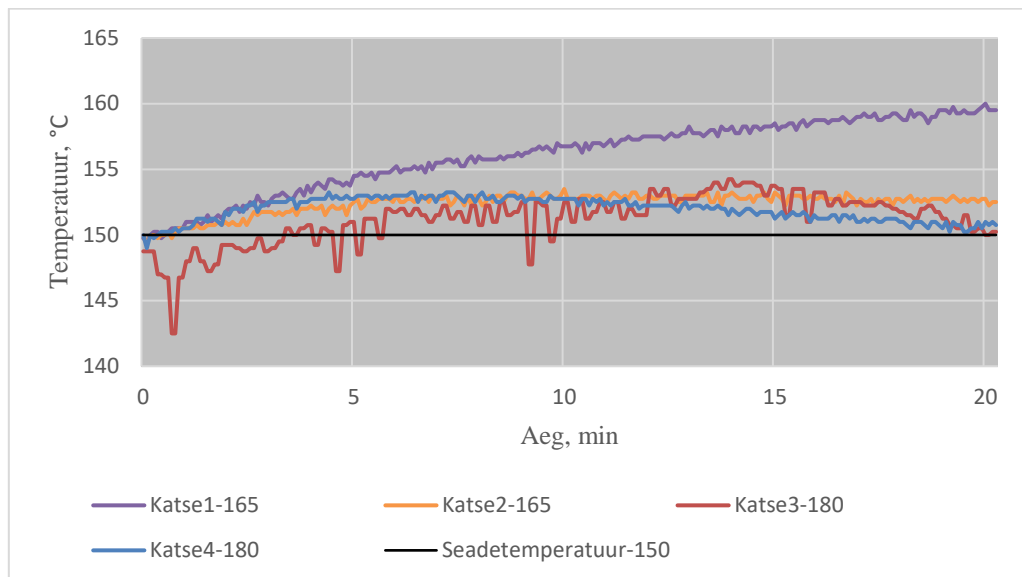
Tabel 1. Katsete parameetrite väärtused enne seadetemperatuuri saavutamist reaktori siseselt

Table 1. Parameters of experiments before reaching setpoint temperature

Katse	katse 1	katse 2	katse 3	katse 4
Reaktori väline seadetemperatuur	165 °C	165 °C	180 °C	180 °C
Proportsionaalne võimendustegur K_p enne seadetemperatuuri saavutamist reaktorisiseselt	3,5	4	4	4
Integreeriva toime võimendus tegur K_i enne seadetemperatuuri saavutamist reaktorisiseselt	0.02	0.02	0.05	0.1
Ülereguleerimine	1 °C	1 °C	2 °C	2 °C
Välise temperatuuri saavutamise aeg	62 min	45 min	18 min	11 min

Teise osa katsete tulemused on toodud joonisel 3 ja võimendustegurite väärtused tabelis 2. Esmalt võrreldi diferentseeriva lüli mõju süsteemile. Võrdluse all oli ülekaalustatud diferentseeriv

võimendustegur (edaspidi Kd) $Kd = 8$ ja teisel katsel $Kd = 1$. Ülekaalustatud Kd puhul tekkis 10 °C ülereguleerimine. $Kd = 1$ puhul stabiliseerus temperatuur 154 °C juures. Kahel viimasel katsel tõsteti välistemperatuur 165 °C -lt 180 °C -le, et leida kõrgema soojusliku inerts mõju süsteemile.



Joonis 3. Katsete 1-4 sisetemperatuuride muutus ajas inkubatsiooniaja vältel.

Fig. 3. Temperature changes inside the reactor over time during incubation period.

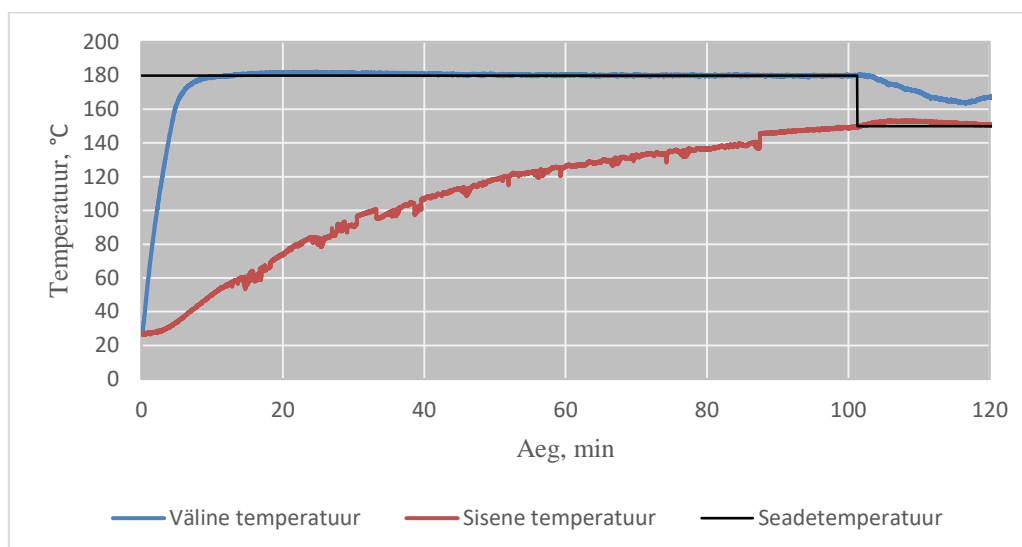
Joonisel on näha, et kolmandal katsel tekkinud sisetemperatuuri graafik oli hüppeline ja ebastabiilne, mis tulenes katse käigus termopaari isolatsiooni kulumisest. Isolatsiooni puudumise tõttu sattus termopaari mõõdeotsik roostevaba terasest kesta vastu ning tulemused olid selle tõttu moonutatud. Sõltumata eelneva katse moonutatud väärtustest suurendati Kd väärtust 1 -lt 5 -le, et veenduda, kas sobiv Kd väärtus võib selles piirkonnas asuda.

Tabel 2. Katsete parameetrite väärtused inkubatsiooniaja kestel

Table 2. Parameters of experiments during the incubation period

Katse	Katse 1	Katse 2	Katse 3	Katse 4
Reaktori sisene seadetemperatuur	150 °C	150 °C	150 °C	150 °C
Reaktori väline seadetemperatuur	165 °C	165 °C	180 °C	180 °C
Proportsionaalne võimendustegur Kp pärast seadetemperatuuri saavutamist	$1,5$	$1,5$	2	2
Diferentsiaalne võimendustegur Kd pärast seadetemperatuuri saavutamist	8	1	1	5
Ülereguleerimine	10 °C	$3,5\text{ °C}$	$4,25\text{ °C}$	$3,25\text{ °C}$

Viimasel katsel kasutatud võimendusteguritega koostatud graafik on kujutatud joonisel 4. Jooniselt on näha, kuidas temperatuur inkubatsiooniaja lõpus langeb 150 °C -le.



Joonis 4. Neljandal katsel reaktori sise- ja välistemperatuuride muutus ajas.

Fig. 4. Final experiment results – temperatures measured inside and outside the reactor.

Neljandal katsel tekkis ülereguleerimine 3,25 °C, mis oli põhjustatud süsteemi soojuslikust inertsist. Kõrgemal välistemperatuuril kütmisel tekib reaktori sees suurem ülereguleerimine, kuid sisetemperatuur saavutatakse kiiremini.

JÄRELDUSED

Otstarbekaim on seadistada regulaator välistemperatuuri saavutamiseks parameetritele: $K_p = 4$; $K_i = 0,1$; $K_d = 0$ ja sisetemperatuuri säilitamiseks: $K_p = 2$; $K_i = 0$; $K_d = 5$. Antud võimendustegurite juures tekib sisetemperatuuri ülereguleerimine 3,25 °C, mis on põhjustatud kõrgest välistemperatuuri seadistusest. Sisetemperatuuri ülereguleerimist on võimalik vähendada, langetades välistemperatuuri, kuid selle tulemusena pikeneb protsessi kestus.

Tulevikus tuleb leitud võimendusteguritega katsetada kütmist nii kõrgematel, kui ka madalamatel sisetemperatuuridel.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] T. K.J.Aström, ADVANCED PID CONTROL, ISA-The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2006, p. 460.
- [2] S.Bennett, "Nicolas Minorsky and the Automatic steering of ships," 1984.

Laparoskoopia simulatsiooni vajalikkus veterinaarmeditsiini tudengite õppetöös

M. Loorits, E. Merisalu

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

Abstract. Simulation models are well-known devices for students to improve their technical skills in veterinary studies. Our aim was to build up laparoscopic simulation prototype, and evaluate the effect of laparoscopic simulation exercises on skills of veterinary medicine students. The group of voluntary participants, the students ($n=15$) of the Institute of Veterinary Medicine and Animal Sciences, Estonian University of Life Sciences was completed. They had to perform two tasks: 1. Training for coordination and 2. Passing needle and chenille wire through rings. The first task repeated 5 times and 2nd task 3 times. Total time (minutes) and number of errors have measured during the exercises. After the passing of each exercise program the students filled out a five-points Likert scale questionnaire assessing the effect of laparoscopic simulation on their skills. The results showed significant difference between the first and last task performance errors: the 1st exercise ($p < 0,01$) and 2nd one ($p < 0,001$). In conclusion, laparoscopic simulation is useful device for students to improve their technical skills and a necessary tool for veterinary medicine studies.

Keywords: Laparoscopic simulation prototype, veterinary medicine students, technical skills

SISSEJUHATUS

Laparoskoopiline kirurgia on veterinaarmeditsiinis hästi arenenud ja pakub avatud kirurgia ees eeliseid – patsiendi minimaalne valu, diagnostiline täpsus ja kiire taastumisaeg [1, 2, 3]. Laparoskoopilise kirurgia töövõttes aga erinevad paljuski traditsioonilisest avatud kirurgiast [4]. Veterinaarkirurgide ebapiisav koolitus on põhjustanud komplikatsioonide arvu tõusu praktikas [5].

Selleks, et üliõpilastel oleks võimalus juba varakult harjutada täpseid töövõtteid ja treenida erialaseid oskusi, on leiutatud mitmeid simulatsiooni meetodeid. Üldiselt on simulatsioonitehnoloogiad kallid ja operatsiooniruumi kasutamine noorkirurgide põhioskuste arendamiseks ebatõhus. Üha enam on proovitud valmistada võimalikult taskukohaseid simulatsiooni prototüüpe, mida on võimalus kasutada nii kodus kui ka tööl ja see ei võta liialt ruumi [6, 7]. Enamik simulatsiooni prototüüpe on ehitatud kasti kujul, kus sees on kujundid käeliste vilumuste arendamiseks ning kaamera kuvab tegevuse ekraanile.

Paljud uuringud on näidanud, et simulatsioonid on tõhusad tehnilised vahendid kutseoskuste õpetamiseks ja uute vahendite testimiseks ning hea strateegia õpilaste ja noorte kirurgide efektiivsuse edendamiseks. Simulatsiooni abil saavad kirurgid arendada psühhomotoorseid oskusi, kaamera navigatsiooni ja objektide üleviimist. Samuti on võimalik harjutada 2D või 3D vaates kahe käe koordineerimist ja õmblemist, sealjuures sõlme tegemist ja organi asetust [7, 8]. Uuringust on selgunud, et simulatsiooni peal harjutamine on aja möödudes parandanud ülesande sooritamise aega ning vähendanud vigade tekkimise arvu [9, 10].

Uuringu eesmärgiks oli ehitada laparoskoopilise simulatsioonimeetodi prototüüp ja mõõta veterinaarmeditsiini üliõpilaste käeliste vilumuste paranemist testi sooritamise käigus.

MATERIAL JA METOODIKA

Uuritavaks grupiks olid Eesti Maaülikooli veterinaarmeditsiini 1. kuni 4. kursuse tudengid. Uuritav grupp moodustati vabatahtlikkuse alusel. Küsitlus ja simulatsiooni katse viidi läbi viieteistkümne üliõpilase seas 2018. aasta märtsis.

Katse viidi läbi Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudi õpperuumis. Laparoskoopia simulatsiooni vajalikkuse hindamiseks õppetöös ehitati laparoskoopia simulatsiooni prototüüp. Simulatsiooni prototüüp koosneb kastist, kahest ülesande plaadist, endoskoobist, kolmest lambist, ekraanist ja laparoskoopilistest instrumentidest. Simulatsiooni kast ehitati 3 mm paksusest köitepapist mõõtudega 250 x 210 x 210 mm. Ülesande plaadid on suurusega 120 x 120 mm.

Üliõpilased sooritasid kaks ülesannet. Esimene ülesanne oli koordineerimise harjutus ning seda tuli sooritada viis korda. Ülesande sooritamiseks tuli kasutada laparoskoopilisi instrumente, et venitada

valget ja punast kummipaela. Valge kummipael tuli tõsta üle valgete sammaste keskele, seejärel punane kummipael üle ühe valgetele sammastele ja lõpetuseks moodustama valgest kummipaelast ruut. Teine ülesanne oli tähelepanu ja täpsuse harjutus, mida sooritati kolm korda ning maksimaalne sooritamiseks lubatud aeg oli kümme minutit. Ülesande sooritamiseks tuli kanda nõi ja õmblusniit läbi kõigi kaheteistkümne augu. Kokku tuli sooritada kaheksa katset.

Enne katsega alustamist näitas uurija ette, kuidas tuleb ülesannet sooritada ning vajadusel korrati esitlust. Peale ettenäitamist tuli üliõpilasel sooritada ülesanne, peale mida täideti pingetugevuse küsimustik, hinnates pinge esinemist erinevates kehapiirkondades katse sooritamise ajal. Kokku täideti küsimustik kaheksa korda.

Soorituse käigus mõõdeti kulunud aeg soorituse läbimiseks ning ülesande vigade arv (nõela kukkumine, vale suund, kummipaela tagasi laskmine). Kõik ülesanded salvestati *Xbox Live* videomängude salvestamise rakendusega. Pärast simulatsiooni kasutamist tuli vastata ankeetküsimustikule, kus hinnati simulatsiooni kasutusmugavust ja vajalikkust õppetöös. Samuti hinnati ebamugavustunnet kaela-, õla- ja randepiirkonnas ülesande sooritamisel. Simulatsioonimeetodi hindamiseks kasutati *Likert*-tüüpi 5-palli skaalat, kus: 1 = ei nõustu üldse, 2 = ei nõustu osaliselt, 3 = nii ja naa, 4 = nõustun osaliselt, 5 = nõustun täielikult ning „ei“/“jah“ vastuseid. Ebamugavustunde hindamisskaala: 1 = ebamugavust ei esine, 2 = kerge ebamugavustunne, 3 = mõõdukas, 4 = tõsine, 5 = väga ebamugav.

Statistiliseks analüüsiks kasutati andmetöötlusprogrammi *MS Excel 2013*, millega arvutati mõõdetud väärtuste aritmeetiline keskmine, standardhälve (\pm SD), miinimum ja maksimum. Esimese ja viimase soorituse erinevuse võrdlemiseks kasutati sõltuvate rühmade *t-test* i veebitarkvaras *GraphPad*.

TULEMUSED JA ARUTELU

Tulemuste põhjal hinnati simulatsiooni harjutuste mõju vilumuste paranemisele ja ebamugavustunde vähenemist erinevates kehapiirkondades. Tulemuste põhjal hinnati simulatsioonimeetodi kasulikkust õppetöös. Andmetes on kokku pandud veterinaarmeditsiini üliõpilaste küsimustiku vastused ning sooritatud katses mõõdetud väärtused (vigade arv ja ülesande sooritamiseks kulunud aeg).

Uuritava grupi moodustasid vabatahtlikkuse alusel 1.–3. õppeaasta tudengid ($n=15$). Uuritavad olid kõik naisüliõpilased, keskmises vanuses 24,0 \pm 3,2 aastat.

Tulemuste põhjal on saadud järgmised põhinäitajad (keskmine, standardhälve, miinimum, maksimum). Küsitluse tulemused on toodud tabelis 1.

Tabel 1. Üliõpilaste hinnang simulatsiooni vajalikkusest peale simulatsiooniprogrammi läbimist (*Likert*-skaalal 1–5).

Figure 1. Participants overall evaluation for laparoscopic simulation usefulness, rated along a 5-points Likert Scale (mean \pm SD).

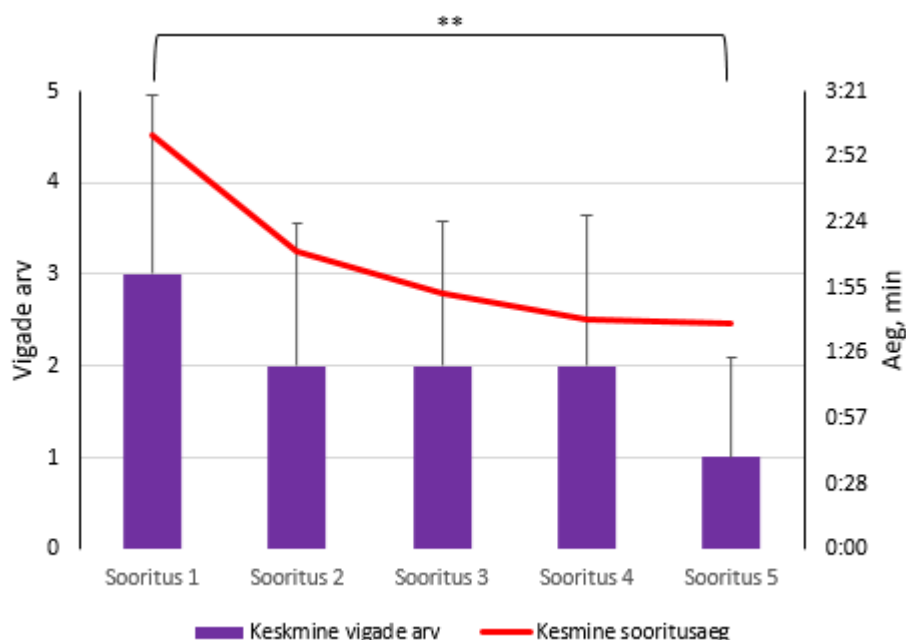
Küsimus	Keskmine \pm SD
Simulatsiooni programmi kestvus oli piisav?	4,7 \pm 0,8
Koordinatsiooniharjutus (ülesanne 1) oli sobilik põhiliste oskuste arendamiseks ja vilumuse parendamiseks?	4,9 \pm 0,4
Tähelepanu ja täpsuse harjutus (ülesanne 2) oli sobilik põhiliste oskuste arendamiseks ja vilumuse parendamiseks?	4,9 \pm 0,3
Teie oskused ja vilumused paranesid peale simulatsiooni-programmi läbimist?	4,3 \pm 0,8
Simulatsioonimeetod on vajalik õppevahend enne elusolendil harjutamist?	5,0 \pm 0
Simulatsiooni ülesannete valik oli piisav?	4,2 \pm 0,4
Simulatsioonil harjutamine on vajalik olemasolevate oskuste parendamiseks?	4,9 \pm 0,3
Simulatsioonil harjutamine on vajalik uute oskuste õppimiseks?	4,9 \pm 0,4
Simulatsioon on vajalik laparoskoopiliste oskuste arendamiseks?	4,9 \pm 0,4

Tabel 1 põhjal on näha, et kõik keskmised vastuseskoorid jäid vahemikku 4 – 5, mis tähendab, et üliõpilased hindasid simulatsioonimeetodi vajalikkust õppetöös kõrgeks. Kõik üliõpilased nõustasid täielikult, et simulatsioonimeetod on vajalik õppevahend enne elusolendil harjutamist. Kõige vähem oldi rahul vastavalt simulatsiooni ülesannete valiku piisavusega ning osaliselt nõustuti, et oskused ja vilumused paranesid peale simulatsiooniprogrammi läbimist (skoorid $4,2 \pm 0,4$ ja $4,3 \pm 0,8$ vastavalt). Üliõpilased nõustasid, et simulatsioonil harjutamine on vajalik uute oskuste õppimiseks ja laparoskoopiliste oskuste arendamiseks.

Kõik 15 üliõpilast, kes sooritasid katsed olid huvitatud edaspidisest harjutamisest laparoskoopia simulatsiooniga. Nende sõnul on võimalus õppida juba esimese katse käigus, kuidas edaspidi ülesannet kõige paremini sooritada. Samuti leiti, et praktilist õpet on koolis liiga vähe, kuid üliõpilaste huvi seda saada väga suur.

Hollandis läbi viidud uuringu põhjal leidis 96% üliõpilastest, et laparoskoopia simulatsioonil harjutamine tõstab oluliselt laparoskoopiliste oskuste taset [10].

Joonisel 1 on toodud esimese ülesande kõigi viie soorituse keskmised tulemused. Joonise põhjal on näha, et ülesandes üks, milleks oli koordinaatsiooni harjutus muutub keskmine vigade arv ja soorituse läbimise aeg.

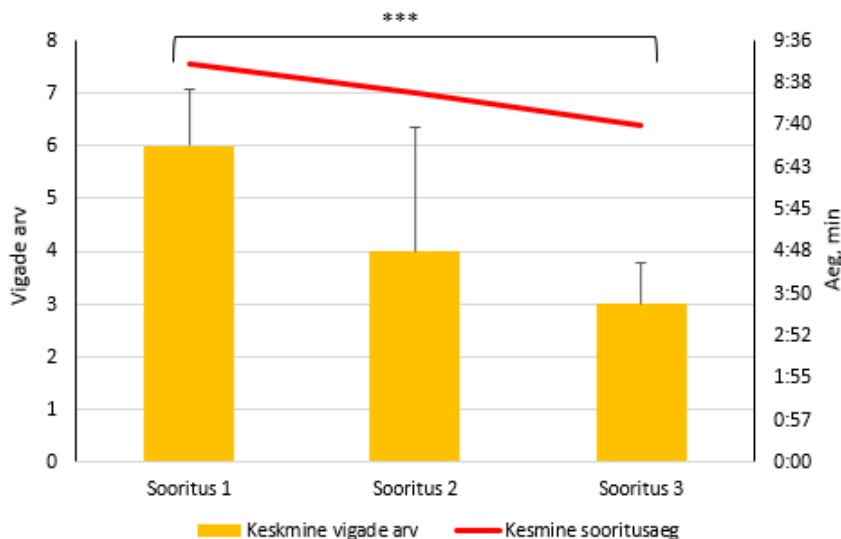


Joonis 1. Ülesandes 1 soorituste 1–5 tehtud vigade arv ja soorituseks kulunud aeg (keskmine \pm SD) $**p < 0.01$.

Figure 1. Task 1 performances time and number of errors. All values – mean \pm SD $**p < 0.01$.

Joonisel 1 toodud tulemustest selgub, et esimese katse keskmine vigade arv oli $3,0 \pm 2,1$. Sooritusel kaks kuni neli oli keskmiseks vigade arvaks $2,2 \pm 2,0$. Viimasel soorituse korral oli keskmine vigade arv $1,1 \pm 1,0$. Esimese ja viimase soorituse vigade arvus esines statistiliselt oluline erinevus $**p < 0.01$. Esimesel sooritusel kulus keskmiselt aega kolm minutit ja kaks sekundit ja viimasel katsel minut ja kakskümmend üks sekundit.

Joonisel 2 on toodud tulemused täpsuse ja tähelepanu harjutamise ülesandest. Joonise põhjal on näha, et iga soorituse käigus väheneb keskmine vigade arv ja sooritusaeg. Katse käigus langes vigade arv kaks korda ($p < 0.001$). Esimene katse suudeti keskmiselt sooritada üheksa minutiga ning kolmas katse alla kaheksa minuti.



Joonis 2. Ülesanne 2 – tähelepanu ja täpsuse harjutamine. Soorituste 1–3 tehtud vigade arv ja soorituseks kulunud aeg (keskmine \pm SD) *** $p < 0.001$. T

Figure 2. The task 2 performances' time and number of errors. All values – mean \pm SD *** $p < 0.001$.

Varasemate uuringute põhjal suutsid osalejad sooritada harjutamise käigus järjest kiiremini ülesanded ning vigade arv vähenes [10]. Keskmine sooritusaeg erinevate ülesannete puhul jäi 60 – 600 sekundi juurde [11]. Antud katsete käigus suudeti enamus sooritusi läbida kirjanduses mainitud vahemikus.

JÄRELDUSED

Laparoskoopia simulatsiooni meetod osutus üliõpilaste arvates vajalikuks vahendiks enda kirurgiliste oskuste arendamiseks. Oluliselt lühenes ülesande soorituse aeg ja katse jooksul vähenes vigade arv. Kõik osalejad olid huvitatud edaspidisest harjutamisest laparoskoopia simulatsiooniga, kuna õppekavas on praktiliste oskuste harjutamise osakaal liiga väike. Antud simulatsioonimeetod on kulutõhus ja üliõpilastel on võimalus arendada enda kirurgilisi oskusi ka väljaspool operatsiooniruumi. Kindlasti on võimalus antud simulatsiooni täiustada ja valmistada veel juurde erineva raskusastmega ülesandeid. Kuigi simulatsioonil harjutamine näitas tulemuste paranemist, on simulatsioonimeetod mõeldud pikaajalisemaks harjutamiseks, et saavutada paremad tehnilised oskused, mida saab üle kanda reaalse laparoskoopilise operatsiooni tõhusamaks sooritamiseks.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] RS.Haluck, RL.Marshall, TM. Krummel and MG. Melkonian, "Are surgery training programs ready for virtual reality? ", a survey of program directors in general surgery, *J Am Coll Surg*, pp. 660–665, 2001.
- [2] R.Fincher and L. Lewis, "Simulations used to teach clinical skills," in Norman GR, van der Vleuten CPM, Newble DI, eds. *International Handbook of Research in Medical Education*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic, pp. 499–535, 2002.
- [3] Institute of Medicine. *To Err Is Human: Building a Safer Health System*. Washington, DC: National Academy Press, 2000.
- [4] Committee on Quality of Health Care in America/ Institute of Medicine. *Crossing the Quality Chasm: A New Health System for the 21st Century*. Washington, DC: National Academy Press, 2001.
- [5] Department of Health Expert Group. *An Organisation with a Memory: Report of an Expert Group on Learning from Adverse Events in the NHS*, Chaired by the Chief Medical Officer. Department of Health, UK, 2000.
- [6] D. Scott, P. Bergen, R. Rege and R. Laycock, R, "Laparoscopic training on bench models: Better and more cost effective than operating room experience? ", *Journal of the American College of Surgeons* vol. 192, no 3, pp. 272 – 283, 2000.
- [7] D. Xiao, A. Albayrak, J.J. Jakimowicz and R.H.M Goossens, " A newly designed portable ergonomic laparoscopic skills Ergo-Lap simulator, " *Minimally Invasive Therapy & Allied Technologies*, pp. 337-345, 2013.
- [8] D. Xiao, A. Albayrak, J.J. Jakimowicz and R.H.M Goossens, " Ergonomic factors on task performance in laparoscopic surgery training, " *Applied ergonomics*, vol. 43, no.3, pp. 548–553, 2012.
- [9] S. Enciso, I. Díaz-Güemes, A.Serrano, J. Bachiller, J. Rioja, J. Usón and F.M. Sánchez–Margallo, " Initial validation of a training program focused on laparoscopic radical nephrectomy," *Actas Urológicas Españolas (English Edition)*, vol.40, no.4, pp. 237–244, 2016b.
- [10] S. Enciso, I. Díaz-Güemes, A.Serrano, J. Bachiller, J. Rioja, J. Usón and F.M. Sánchez–Margallo " Validation of a Model of Intensive Training in Digestive Laparoscopic Surgery" , *Cirugía Española (English Edition)*, vol. 94, no.2, 70-76, 2016c.
- [11] J.M.Luursema, M. Rovers, M. Groenier, M and H. van Goor, " Performance variables and professional experience in simulated laparoscopy: a two-group learning curve study," *Journal of surgical education*, vol. 71, no.4, pp. 568-573, 2014.

Pöördprojekteerimine

Reverse engineering

R. Laanemets, T. Leemet

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

Abstract. Reverse engineering options using a laser scanner Nikon MCAX20/MMDX50 and a computer tomograph YXLON FF35 CT. The purpose of the project is to compare both devices and create a virtual model from the existing plastic frame. A virtual model is necessary because the existing frame is need to be improved with CAD software. The frame has a complicated shape and because that manual measure and designing would be very troublesome. The greatest advantage of a tomography is to see inside of the components. By a computer tomograph generated image is of better quality but the files take more space on the hard disk and require a very good computer for processing.

Key words: laser scanner, computer tomography, virtual model, surface model.

SISSEJUHATUS

Mehaanika projekteerimine on protsess, kus vastavalt lähteülesandele liigutakse abstraktse idee poolt konkreetse detaili või koostu 3D mudeli ja jooniste valmistamise suunas. Pöördprojekteerimise puhul on tegemist vastupidise protsessiga. Detail või koost, millest soovitakse luua CAD (*computer-aided design*) mudelit või jooniseid on juba olemas. [1]

Põhjuseid, miks on vaja eksisteerivast detailist luua CAD mudel võib olla mitmeid. Näiteks tootearendamine, purunenud või kulunud detaili asendamiseks, erinevate mõõtmiste ja simulatsioonide jaoks (FEM), jne. Tootearendamise soovist tekkis vajadus mudeldada (täpsusega $\pm 0,5$ mm) üks veoki küljepeegli detail (vt joonis 1). Kuna nimetatud detailil esineb palju kumeraid servasid ja raadiuseid, siis on seda lihtsate vahenditega (nihkkaliiber ja mõõdulint) väga tülikas mõõta. Ning saadud mõõtude põhjal järjest sisse mudeldamiseks kulub väga palju aega ja samas tulemus ei pruugi olla soovitud täpsusega. Seetõttu otsiti detaili mudeldamiseks alternatiivseid variante. Käesolevas artiklis tutvustatakse detaili pöördprojekteerimise võimalusi Eesti Maaülikoolis oleva laserskänneri (Nikon MCAX20/MMDX50) ja kompuutertomograafia (YXLON FF35 CT).

3D laserskaneerimine töötati välja 20. sajandi teisel poolel. See tehnoloogia on kasulik teadusuuringute ja disaini valdkonnas. Esimene 3D skaneerimise tehnoloogia loodi 1960. aastatel. Algsed skännerid kasutasid toimimiseks valgust, kaameraid ja projekteid. Nende seadmetega kulus objektide täpseks skaneerimiseks palju aega ja vaeva. Pärast 1985. aastat asendati need skänneritega, mis kasutasid valget valgust, lasereid ja varjundeid pindade kopeerimiseks. [2]

Kompuutertomograafi tehnoloogia hakkas arenema samuti 20 sajandil. Ameerika füüsik Alan Cormack ja inglise elektriinsener Godfrey Hounsfield arendasid 1960ndate lõpus välja tehnoloogia. See võimaldas luua kolmemõõtmelisi kujutisi inimese kehaosadest, erinevate röntgeniristlõigete kombineerimise teel. Kompuutertomograafi leiutamist peeti sedavõrd oluliseks sündmuseks, et 1979. aasta Nobeli meditsiiniauhind omistati neile kahele teadlasele. [3]

MATERIAL JA METOODIKA

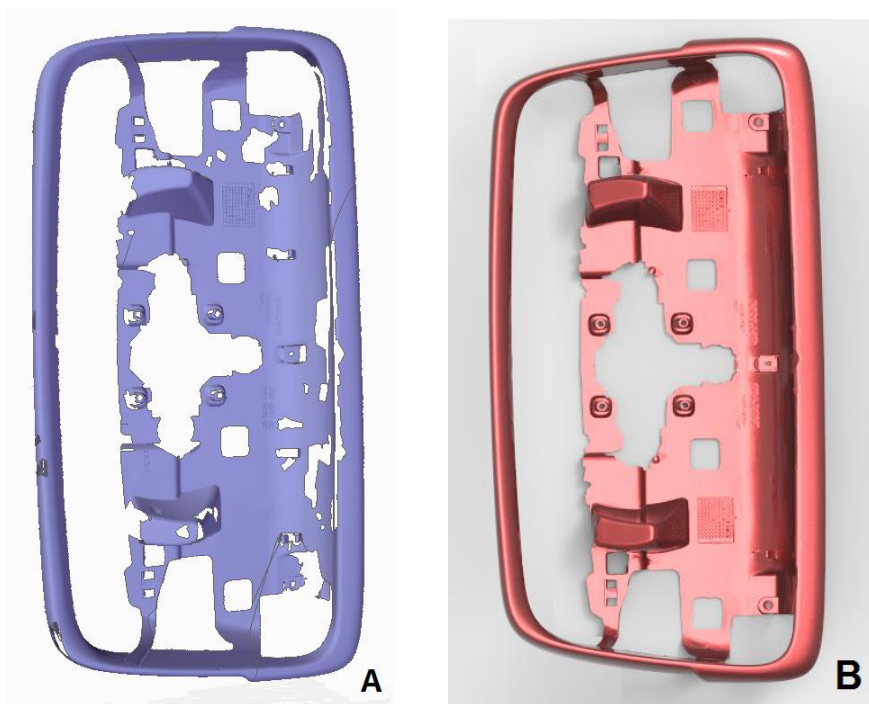
Mudeldatavaks objektiks on Volvo FH/FM versioon 2 parempoolse peegli detail, mis on kujutatud joonisel 1. Nagu jooniselt näha, siis on antud detailil palju raadiuseid ja kumeraid pindasid, mis muudab selle detaili käsitsi mõõtmise ja mudeldamise väga aega nõudvaks ja keeruliseks.



Joonis 1. Foto Volvo FH/FM ver 2 parempoolse peegli detailist nr 20455982.

Figure 1. Photography of Volvo FH/FM ver 2 right side mirror part no 20455982.

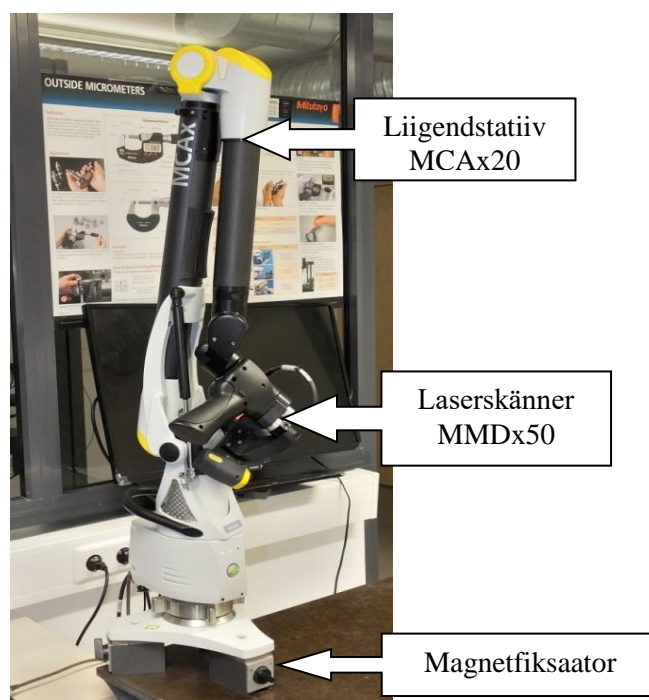
Laserskanneerimine teostati Eesti Maaülikooli tehnikainstituudi mõõtelaboris ruumis A017, kasutades laserskannerit Nikon MCAX20/MMDx50. Tegemist on portatiivse käsiskänneriga, mis on kinnitatud magnetfiksaatorite abil terasest töölaua külge. Kui skanneerimise tarkvara ja skanner on käivitatud, siis on vaja skanner kalibreerida. Selleks on töölauale vaja asetada kalibreerimise alus, käivitada kalibreerimise programm ja skanneerida vastavalt programmi juhisteid sisse kalibreerimisalusel olevad punktid. Seejärel võib töölauale asetada objekti, mida soovitakse mudeldamise või mõõtmise eesmärgil skanneerida. Skanneeritav eseme on vaja fikseerida töölauale selliselt, et see skanneerimise käigus ei liiguks. Joonisel 1 kujutatud detaili gabariitmõõtmed on: pikkus 467 mm, laius 248 mm, sügavus 81 mm ja selle laserskanneerimiseks kulus 1,5 tundi. Saadud punktipilve suurus on 67,6 MB. Arvuti tarkvara (Geomagic Wrap 2017) abil luuakse punktide kogumist virtuaalne 3D mudel STL failina. Peale skanneerimist teostati saadud STL failile järeltöötlus, mille käigus parandati skanneerimata jäänud alad. Järeltöötlusele kulus aega 1,5 tundi. Skanneri abil mudeldatud detaili kujutised a) parandamata ja b) parandatud kujul on toodud joonisel 2. Parandatud versiooni on lisaks renderdatud SolidEdge ST10 Academic versiooni lisandmoodulit KeyShot 6 kasutades. Selle abil on kujutis muudetud fotorealistlikumaks, lisades mudelile värvi, valguse ja peegeldused.



Joonis 2. Skanneeritud peegli raam; A- töötlemata kujul, B- töödeldud.

Figure 2. Scanned mirror frame; A- without afterworking, B- afterworked.

Laserskänneri komplekt Nikon MCx20/MMDx50 koosneb laserskännerist, liigendstatiivist ning skänneriga ühendatud arvutist, milles on tarkvara Geomagic Wrap. Skänner kinnitub spetsiaalse liigendstatiivi külge, mis omakorda on kinnitatud kolme magnetfiksaatori abil terasest töölauale. Lisaks magnetkinnitusele pakub tootja veel vaakumkinnitusega ja mehaanilise kinnitusega statiive. Statiivid võivad erineda ka mõõtmete poolest, mida suurem statiiv seda suurem võimalik mõõteulatus. Eksperimendis kasutatud laserskänner koos statiivi ja fiksaatormagnetitega on kujutatud joonisel 3.



Joonis 3. Laserskänner Nikon MCx20/MMDx50.

Figure 3. Laser scanner Nikon MCx20/MMDx50.

Sänneerimise komplekti üldine täpsus sõltub nii kasutatavast statiivist, kui statiivi külge kinnitatud laserskännerist. Laserskänneri ja statiivi kombinatsioon: Nikon MCx20/MMDx50, kogu täpsuseks on tootja andmetele 50µm. MMDx skänneri mudelid on tootjal 3 erinevat tüüpi, need erinevad skäneriva riba laiuse ja täpsuse poolest. Käesoleva projekti raames kasutatud laserskänneri olulisemad tehnilised parameetrid on toodud tabelis 1. [4]

Tabel 1. Laserskänneri MMDx50 tehnilised parameetrid. Allikas [4]

Table 1. Specifications of laser scanner MMDx50. Source [4]

Parameeter	Väärtus
riba laius	50 mm
täpsus	7µm
maksimaalne andmeedastuskiirus	150 Hz
punktide arv ribal	1000 tk
seadme mass	0,4 kg

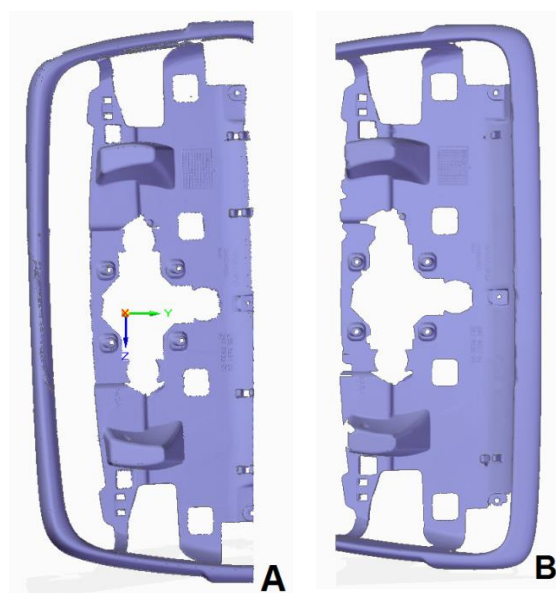
MMDx tüüpi skänneritele pakutakse 12 erinevat statiivi versiooni. Versioonid erinevad mõõteulatus ja täpsuse poolest. Skänerimisel kasutatud statiivi tehnilised parameetrid on toodud tabelis 2.

Tabel 2. Skänneristatiivi MCx20 tehnilised parameetrid. Allikas [4]

Table 2. Specifications of laser arm MCx20. Source [4]

Parameeter	Väärtus
mõõteulatus	2000 mm
punkti korratavus	0,044 mm
töötemperatuur	0-50°C
seadme mass	7,9 kg
toitepinge, AC (50-60 HZ)	100-240 V

Lisaks laserskänneerimisele teostati detailile eksperimendi korras skänneerimine ka kompuutertomograafia YXLON FF35 CT. Detaili mõõtmed ei võimaldanud detaili ühe korraga skänerida. Seetõttu skänneeriti esmalt esimene pool detailist ja hiljem teine pool. Tomograafi abil saadud kujutised mõlemast poolest on toodud joonisel 4 A ja B. Kummagi poole skänneerimiseks kulus aega üks tund.



Joonis 4. Kompuutertomograafia skännitud detail kahe osana A ja B.

Figure 4. With computer tomography scanned one detail in two parts A and B.

A- poolest saadud punktipilve suurus on 219 MB ning B- poole maht 263 MB. Skännitud kujutised monteeriti kokku, kasutades tarkvara Geomagic Wrap 2017 [5]. Kattuvad osad ja defektid kustutatakse, ning skanneerimisel jäänud tühimikud täidetakse. Selle tulemusena saadakse skanneeritud detaili pooltest üks terve kujutis, mille faili maht on 117 MB. Eksperimendis kasutatud kompuutertomograaf on kujutatud joonisel 5.



Joonis 5. Kompuutertomograaf YXLON FF35 CT.

Figure 5. Computer tomograph YXLON FF35 CT.

Kompuutertomograafis toimub skanneerimine automatiseeritult. Skanneeritav objekt asetatakse seadme sees olevale töölauale, suletakse seadme uks ja käivitatakse protsess. Tulemust on reaajas näha monitoridelt.

YXLON FF35 CT on multifunktsionaalne, suure lahutusvõimega kompuutertomograafiline uurimise süsteem väikese- ja keskmise suurusega osade jaoks. Seade sobib hästi teadus-ja arendustegevuseks, defektide analüüsiks ning koostu kontrollimiseks. Tabelis 3 on toodud kompuutertomograafi tehnilised parameetrid. [6]

Tabel 3. Kompuutertomograafi YXLON FF35 CT tehnilised parameetrid. Allikas [6]

Table 3. Specifications of computer tomograph YXLON FF35 CT. Source [6]

Parameeter	Väärtus
gabariitmõõdmed	2990 · 2220 · 1550 mm
seadme mass	6800 kg
mõõdetäpsus	8 µm +L/75 (L = mm)
uuritava detaili maksimaalne mass	30 kg
uuritava detaili maksimaalsed mõõdmed	Ø 300mm, L = 500mm
toitepinge, AC (50-60 Hz)	100-240 V

TULEMUSED JA ARUTELU

Mõlema skanneerimise meetodi puhul loodi detailist piisavalt täpne 3D mudel, et sellest mudelist reaalne uus detail valmistada, näiteks 3D printimise teel. Nii laserskanneeritud kui ka kompuutertomograafiga loodud punktipilved vajasisid järeltöötlemist, skanneerimata jäänud alade parandamist ja tekkinud moonutuste likvideerimist. Kompuutertomograafi poolt loodud 3D mudel ühest detaili poolest võtab arvuti kettal ruumi rohkem kui 200MB, samas kui laserskanneeritud kogudetaili maht kettal on 67,6 MB. Faili suuruse tõttu on kompuutertomograafi loodud STL failide avamine arvutis (Solid Edge ST10-ga) kuni 5 korda aega nõudvam.

JÄRELDUSED

Kompuutertomograafi suurimaks eeliseks laserskänneerimise ees on võimalus uurida ja skäneerida detaili või koostu sisemust ilma seda avamata või purustamata. Käesolevas artiklis kajastatud detaili skäneerimiseks sobib paremini laserskänner. Kuna laserskänner võimaldas kogu detaili ühe korraga skäneerida ja faili maht oli üle 3 korra väiksem. Kokkuvõtteks võib öelda, kui pöördprojekteerimisel või detaili uurimisel pole oluline info detaili sisemusest ja piisab välispinnalt saadavast infost, siis on otstarbekam kasutada laserskännerit.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] V. Raja. (2007). Introduction to Reverse Engineering. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/226320946> [Accessed 20.03.2018]
- [2] Mostafa A-B Ebrahim. (2011). 3D Laser scanners: history, applications and future. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/267037683> [Accessed 20.03.2018]
- [3] Kompuutertomograaf [Online]. Available: <https://et.wikipedia.org/wiki/Kompuutertomograaf> [Accessed 27.03.2018]
- [4] Nikon Metrology [Online]. Available: <https://www.nikonmetrology.com/images/brochures/mmdx-mcax-en.pdf> [Accessed 29.03.2018]
- [5] 3D Systems [Online]. Available: <https://www.3dsystems.com/software/geomagic-wrap> [Accessed 30.03.2018]
- [6] Yxlon [Online]. Available: <https://www.yxlon.com/Yxlon/media/Content/Products/X-ray%20and%20CT%20inspection%20systems/YXLON%20FF35%20CT/YXLON-FF35-CT-Product-Brochure.pdf> [Accessed 30.03.2018]

Päikeselt pärineva kiiritustiheduse mõõtmine püranomeetriga kasutades Raspberry Pi-d andmesalvestina

Solar irradiance measurements with pyranometer using Raspberry Pi as a datalogger

R. Loog, V. Palge

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energiakasutuse õppetool,

Kreutzwaldi 56, 51014, Tartu, Eesti

Abstract. The purpose of this article was to develop a datalogger based on Raspberry Pi to capture solar irradiance measurements from several pyranometers. Accurate solar irradiance measurements are important to evaluate the productivity of solar collectors or PV panels. Since pyranometers output is a small analog signal, an expansion plate from Waveshare for Raspberry Pi was used, which gave the system ability to read analog signals accurately. Raspberry Pi was used with Raspbian operating system and Python programming language was used to code the program to measure voltage from pyranometers which was converted to solar irradiance. It was found, that a measuring system based on Raspberry Pi can measure solar irradiance accurately. Compared to current measuring system, the Raspberry Pi based data logger has more advanced capabilities, is financially much more affordable and does not require a separate personal computer.

Key words: Raspberry Pi, pyranometer, data logging, solar irradiance, Waveshare AD/DA Board.

SISSEJUHATUS

Üheks päikeseenergia kasutamise uurimise eelduseks on täpsed päikeselt pärineva energia mõõtmised. Need on olulised selleks, et uurida kuidas mõjutavad näiteks päikesepaneeli asend ja taeva pilvisus paneeli tootlikust võrreldes päikeselt paneeli asukohas horisontaalpinnale langeva energiavooga. Samuti on võimalik täpsete mõõtetulemuste abil kindlaks määrata päikeseenergia muundamise efektiivsus.

Eesti Maaülikooli Tehnikamaja katusel mõõdetakse päikese kiiritustihedust hetkel kahe eraldiseisva süsteemiga. Esimeseks süsteemiks on Davis Vantage Pro2 ilmajaam, mis lisaks erinevatele muudele keskkonnaparametritele mõõdab ka kiiritustihedust. Teiseks süsteemiks on päikese kiiritustiheduse mõõtmise süsteem termopaaride signaaluanduri TC-08 baasil, mis lisaks päikese kiiritustiheduse anduri signaalile muundab ka päikese kiiritustiheduse erinevate temperatuuriandurite signaale. TC-08-le baseeruv mõõtmisüsteem mõõdab päikese kiiritustihedust termopaaride patarei põhimõttel töötava püranomeetri abil. Aja möödudes on püranomeetri mõõtetulemuste salvestamiseks kasutatava süsteemi mõned komponendid hakanud oma töökindlust kaotama. Samuti on usaldusväärsete andmete andmise lõpetanud kasutatav püranomeeter ise. Eesti Maaülikooli Tehnikamaja katusele on käesoleval hetkel lisaks olemasolevatele anduritele üles seatud kolm kaasaegset Kipp&Zonen kaubamärgiga püranomeetrit, mille mõõtetulemustega enne artikli kirjutamist ei salvestatud.

Artiklis kirjeldatakse Raspberry Pi baasil mõõtesüsteemi loomist püranomeetrite mõõtetulemuste salvestamiseks. Raspberry Pi-le loodi analoog-signaalide lugemise võimekus kasutades laiendusplaati Waveshare AD/DA Board. Saadud mõõtetulemuste võrreldi Davis Vantage Pro2 ilmajaama mõõtetulemustega ning Tartu Ülikooli füüsikahoone katusel asuva ilmajaama mõõtetulemustega.

MATERJAL JA METOODIKA

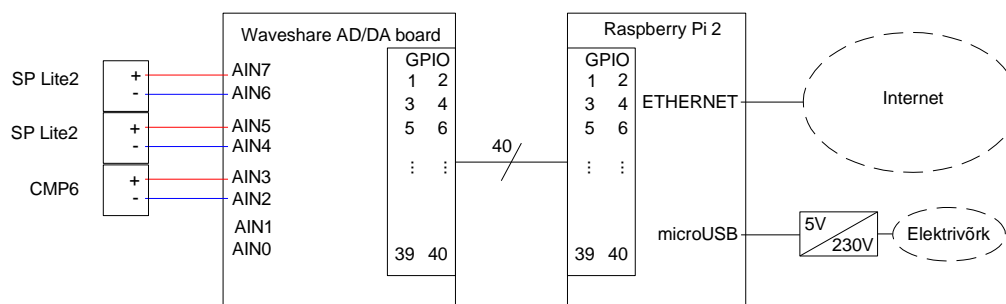
Mõõtesüsteemis kasutati andmete salvestamiseks Raspberry Pi 2 mudelit B V 1.1. Mõõtesüsteemile analoog-signaalide lugemise võimekuse tekitamiseks kasutati Raspberry Pi-le mõeldud laiendusplaati Waveshare AD/DA Board.

Raspberry Pi on krediitkaardi suurune arvuti. Raspberry Pi on osutunud äärmiselt populaarseks peamiselt tänu tema väikesele hinnale, võimekusele jooksutada erinevaid operatsioonisüsteeme, madalale energiatarbele ja enimlevinud ühendusvõimaluste omamisele (USB, ETHERNET, GPIO,

HDMI, 3,55mm Audio). Samuti ei saa lugeda vähemtähtsaks Raspberry Pi kasutajate kommuune, kus levitatakse entusiastide poolt tehtud projekte ning erinevaid kogemusi. Käesolevas töös kasutati operatsioonisüsteemina Raspbian Jessiet. Mõõteprogrammi kirjutamiseks kasutati programmeerimiskeelt Python. [1]

Waveshare AD/DA Board on loodud Raspberry Pi laiendusplaadiks, et luua Raspberry Pi-le võimekus lugeda analoogsignaale kõrge resolutsiooniga digitaalsignaalistena. Waveshare AD/DA Board-i peal on analoog-digitaalkoodmuundur ADS1256, millel on kaheksa 24-bitist kanalit. Käesolevas töös kasutati ära ADS1256 võimekust mõõta nelja diferentsiaalpinget kanalite vahel. [2]

Seadmete ühendusskeem on toodud joonisel 1.



Joonis 1. Mõõtesüsteemi ühendusskeem.

Figure 1. Measuring system connection diagram.

Püranomeetrid saavad tehasest koos ilmastikukindlate kolmesooneliste signaalikaablitega. Püranomeetrist välja kaabli viigud on väljundsignaali pluss, miinus ja kesta maandus. Vaatlusaluses ühendusskeemis ühendati ainult pluss ja miinus. Püranomeetri väljundjuhtme pluss ja miinus on ühendatud kõrvuti asuvate laiendusplaadi analoogsisenditega (vastavalt joonisele 1). Laiendusplaatil kasutatakse võimet mõõta diferentsiaalpinget. Laiendusplaat ise omakorda on ühendatud Raspberry Pi 2-ga kasutades GPIO viike.

Töös kasutatavate püranomeetrite olulisemad andmed on toodud tabelis 1.

Tabel 1. Kasutatavate Kipp&Zonen püranomeetrite põhiandmed. Allikad 3,4

Table 1. Used Kipp&Zonen Pyranometer basic data. Sources 3,4

Püranomeeter	Tundlik element	Töötemperatuur, °C	Lainepikkus, nm	Tundlikkus, $\mu V/(W/m^2)$.
SP Lite 2	Fotodiod		400...1100	73,1
SP Lite 2		-40...80 °C		61,7
CMP6	Termopaaride patarei		285...2800	14,91

Püranomeeter SP Lite2 on mõeldud üldotstarbelisteks päikese kiiritustiheduse mõõtmisteks (põllumajandus, hüdroloogia, hoonete automaatika), kus madal maksumus on oluline ja mõõtetulemuste kvaliteedile ei esitata rangeid nõudmisi. Püranomeetri SP Lite2 tundlikuks elemendiks on fotodiod, mis tekitab väljundis pinget, mis on võrdeline päikese kiiritustihedusega. Püranomeetrit CMP6 kasutatakse täppismõõtmistes [4]. Püranomeeter CMP6 töötab termopaaride patarei põhimõttel, mille tähtsamad elemendid on termopaaride patarei ise, must kiirgust neelav materjal, klaasist kuppel ning kere. Klaasist kuppel kaitseb musta kiirgust neelavat materjali määrdumise ning tuule eest. Tänu materjalile (klaas) laseb kuppel läbi päikese kiirgust lainepikkusega 300-3000 nm. Termopaaride kuumad jootekohad on puutes musta kiirgust neelava materjaliga ning külmad jootekohad püranomeetri kerega. Tänu termoelektrilisele efektile tekib temperatuuride vahe tõttu termopaaride patarei külmal külmetel jootepunktidel mõõdetav pinget, mis on võrdeline päikese kiiritustihedusega. [5]

Püranomeetrite väljundpinge teisendati juhtprogrammi abil ümber päikeselt pärinevaks kiiritustiheduseks. Püranomeetrid olid tehasest kalibreeritud ning ostuga koos tuli kaasa ka kalibreerimisleht.

Teades väljundpinge sõltuvust kiiritustihedusest (tabel 1) on võimalik leida päikese kiiritustihedus valemiga 1.

$$E = \frac{U}{S} \quad (1)$$

kus E on päikeselt pärinev kiiritustihedus W/m^2 ;
 U – püranomeetri väljundpinge μV ;
 S – tundlikkus $\mu\text{V}/(\text{W/m}^2)$.

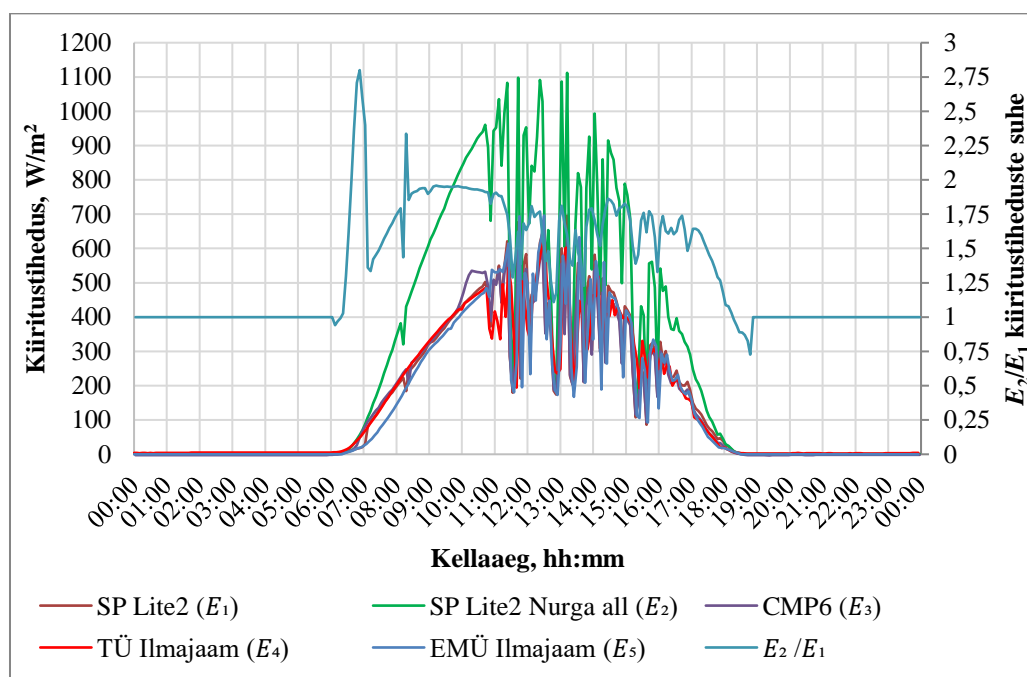
Valem 1 on sisestatud programmeerimiskeeles Python kirjutatud programmi koodi, mille käivitamisel salvestatakse .csv formaadis tekstifaili päikeselt pärineva kiiritustiheduse andmed. Mõõtmistulemusi salvestatakse iga sekundi järel.

Mõõtmistulemusi hakati salvestama alates 17. veebruarist 2018. Kõik kolm püranomeetrit olid algselt paigaldatud maapinna suhtes horisontaalselt. 9. märts 2018 teiseldata üks kahest SP Lite2 püranomeetrist päikesekollektori küljes olevale eraldi alusele, et püranomeetri asetus maapinna suhtes oleks sama mis päikesekollektori omagi.

Järgnevalt esitatakse erinevate päevade mõõtetulemusi päikeselisel päeval ning pilvisel päeval.

TULEMUSED JA ARUTELU

Joonisel 2 on esitatud valdavalt päikesepaistelise 17. märtsi püranomeetrite (2 tk SP Lite2, CMP6) mõõtmistulemused ning võrdluseks Eesti Maaülikooli Tehnikamaja katusel asuva Davis Vantage2 Pro [6] ning Tartu Ülikooli füüsikahoone katusel asuva ilmajaama kiiritustiheduse mõõtmistulemused [7].



Joonis 2. Päikeselt pärineva kiiritustiheduse mõõtmised 17. märts [6,7]

Figure 2. Solar irradiance measurements from 17 march [6,7]

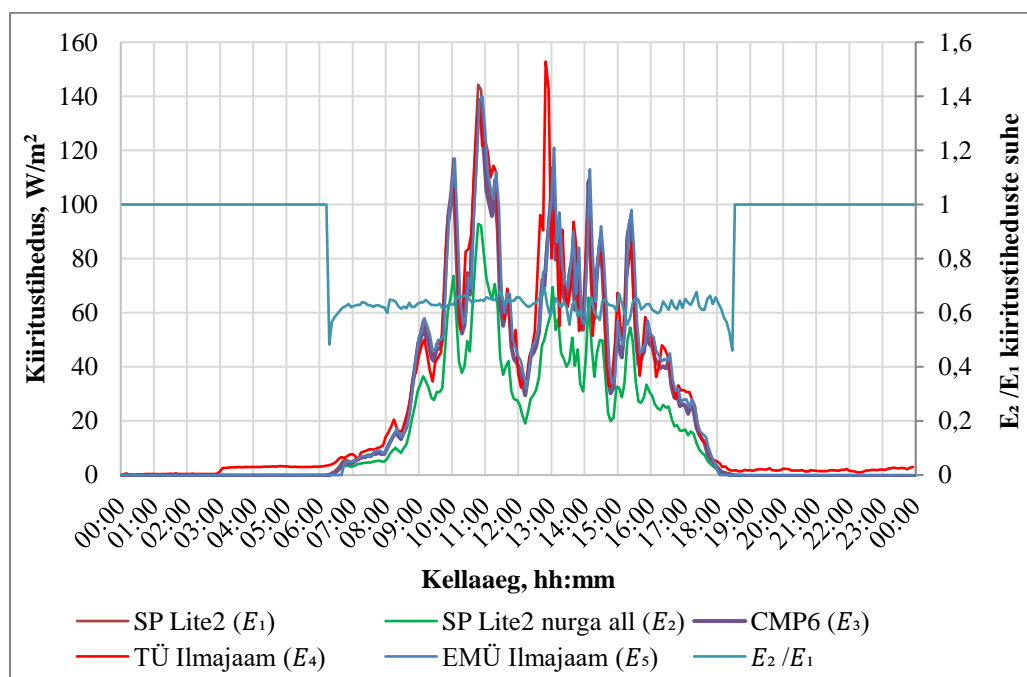
Joonisel 2 võib näha, et kui võrrelda horisontaalselt asuvate andurite kiiritustihedusi (E_1 , E_3 , E_4 , E_5), siis on kõik mõõtmised samas suurusjärgus. Võib märgata Davis ilmajaama kiiritustiheduse (E_5) maha jäämist teiste mõõteriistade omadega võrreldes päeva alguses, kuid päeva peale vahe väheneb. Seda võib põhjustada külmast ilmast tingitud härmatise olemasolu anduril. Ligikaudselt kell 8.00...8.15 on joonisel 2 näha kõigi kolme Tehnikamaja katusel oleva püranomeetri näitudes hetkelist langust ca 70 W/m^2 . Tõenäoliselt põhjustab sellist nähtust Tehnikamaja katusel asuv tuulemõõtja, mis varjutab püranomeetreid lühikest aega päikese eest igal hommikul.

Joonisel 2 võib samuti märgata püranomeetri CMP6 (E_3) kella 10-st kuni kella 11-ni aset leidnud kiiritustiheduse suurenemist võrreldes teiste anduritega. Varasemaid mõõtmistulemusi vaadeldes, võib

antud nähtusi leida ka teistel päevadel. Antud nähtused on leitavad tavaliselt enne lõunat ning ülejäänud päeval enam ei esine. Antud nähtused on aset leidnud vaid külmadel päikesepaistelistel hommikupoolikutel. Võib järeldada, et antud nähtused on seotud kuidagi päikesekiirguse peegeldumise tõttu härmatiselt. Kui vara hommikul puhastati SMP6 kuppel härmatisest, siis olid kõik kõverad sarnased.

Joonisel 2 on samuti toodud nurga all asuv püranomeeter SP Lite2 ning kahe püranomeetri näitude suhe (nurga all oleva püranomeetri SP Lite2 ja horisontaalse püranomeetri SP Lite2). On näha, et hommikul päikesepaistelistel ning pilves-selginemistega päeva jooksul esineb nurga all oleval püranomeetril 1...1,9 korda suurem kiiritustihedus kui horisontaalsel püranomeetril. Väärtused, mis jäävad nendest piiridest väljapoole, on põhjustatud asjaolust, et püranomeetrid on eri hetkedel päikese eest varjatud.

Joonisel 3 on toodud eelneva joonise 2 samade mõõtmissüsteemide mõõtetulemused 14. märtsi kohta.



Joonis 3. Päikeselt pärineva kiiritustiheduse mõõtmised 14. märtsil [6,7]

Figure 3. Solar irradiance measurements from 14 march [6,7]

Jooniste 2 ja 3 erinevus on see, et viimane kujutab kiiritustiheduse väärtusi pilves ilmaga. Jooniselt 3 võib näha, et kui võrrelda horisontaalselt asuvate erinevates mõõtepunktidest asuvate andurite (E_1 , E_3 , E_4 , E_5) mõõtetulemusi, siis on kõik tulemused ligikaudu võrdsed sarnaselt joonisele 2.

Joonisele 3 on samuti toodud nurga all asuv püranomeeter SP Lite2 ning kahe püranomeetri mõõtetulemuste suhe (nurga all oleva püranomeetri SP Lite2 ja horisontaalse püranomeetri SP Lite2 tulemuste suhe). Mõõtmistulemustest on näha, et pilves ilma korral on nurga all oleva püranomeetri mõõdetud kiiritustihedus ~30-40% väiksem.

JÄRELDUSED

Mõõtmistulemuste võrdlemisel teiste eraldiseisvate mõõtmissüsteemide tulemustega võib järeldada, et Raspberry Pi baasil püranomeetrite mõõtesüsteemi loomine õnnestus. Võrreldes varasemalt kasutuses oleva termopaaride signaaluunduri TC-08 baasil mõõtmissüsteemiga omab Raspberry Pi baasil valmistatud andmesalvesti rohkem edasiarendamise võimalusi, on hinnalt oluliselt soodsam ning ei vaja eraldi personaalarvuti olemasolu.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Raspberry Pi foundation. RASPBERRY PI 2 MODEL B. Available. <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-2-model-b/> [Accessed 18.03.2018].
- [2] Waveshare Wiki. High-Precision AD/DA Board. Available. https://www.waveshare.com/wiki/High-Precision_AD/DA_Board [Accessed 18.03.2018].
- [3] Kipp&Zonen. Sp Lite2 Pyranometer. Available. <http://www.kippzonen.com/Product/9/SP-Lite2-Pyranometer> [Accessed 13.03.2018]
- [4] Kipp&Zonen. CMP6 Pyranometer. Available. <http://www.kippzonen.com/Product/12/CMP6-Pyranometer> [Accessed 13.03.2018]
- [5] Kipp&Zonen. The Working Principle of a Thermopile Pyranometer. Available. <http://www.kippzonen.com/News/572/The-Working-Principle-of-a-Thermopile-Pyranometer> [Accessed 13.03.2018]
- [6] Eesti Maaülikool. Davis Vantage Pro2 ilmajaam. Available. <http://energia.emu.ee/weather/Archive/> [Accessed 13.03.2018]
- [7] Tartu Ülikool. Füüsika instituut, keskkonnanfüüsika labor. E-ilmajaam Tartus füüsikahoone katusel. Available. <http://meteo.physic.ut.ee/> [Accessed 13.03.2018]

Taimede kasvutingimuste parameetrite seiresüsteemi andurseadme arendus

R. Mets, V. Palge

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Energiakasutuse Õppetool

Abstract. This article describes the concept of a battery powered sensor device. At first, the requirements for the device were defined. According to that the electrical schematic and created PCB are described. In this article, the author has described the device abilities and uses. The requirements for the device are: low power consumption meaning that device should last on battery's one vegetation period (200 days), compactness and the ability to connect soil moisture and temperature sensors. The result is a low power working device with a wireless sensor module what is capable of sending data to base station approximately at the distance 800 meters. The outer measurements of the device are 70 x 50 mm and the life expectancy of the battery chosen in this article is 284 days.

Keywords: arduino, sensor, network, wireless, precision agriculture

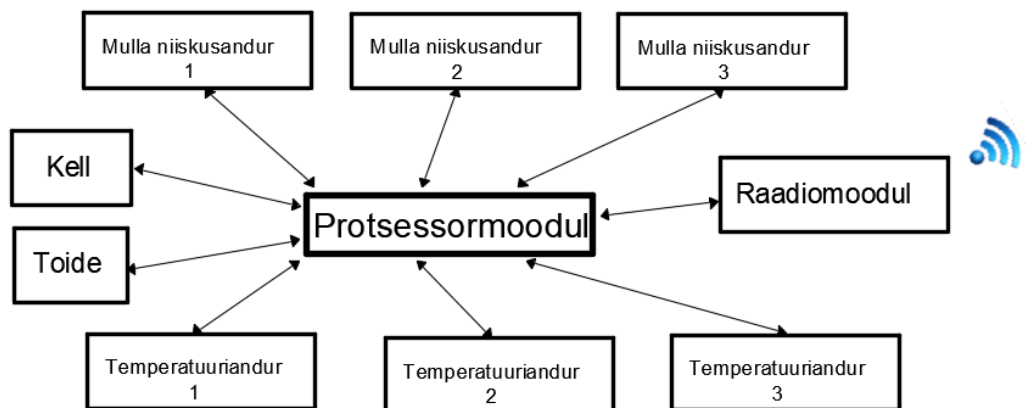
SISSEJUHATUS

Keskkonnaseire hõlmab endas keskkonna parameetrite mõõtmist, andmete kogumist ja andmete töötlemist. Keskkonnaandmed on põllumajanduse efektiivsemaks muutmiseks oluliseks sisendiks. Kogutud andmetele tuginedes luuakse mudelid, mis võimaldavad erinevate taimekultuuride efektiivsema kasvatamise. Mudelid võtavad arvesse erinevaid keskkonnaparametreid ja nende väljundid annavad põllukultuuri kasvatamisele toetavat informatsiooni.[1]

Artiklis kirjeldatakse taimede kasvutingimuste seiresüsteemi kuuluva patareitoitel töötava andurseadme prototüübi arendust. Esmalt määratleti andurseadme nõuded: seadme energiaallikas peab garanteerima mõõteseadme autonoomse töövõime vähemalt ühe vegetatsiooniperioodi, mis allika [2] andmetel on 190-200 päeva, andmeid kogutakse kasutades raadiosidet ja seade ise peab olema võimalikult kompaktne. Artiklis antakse täielik ülevaade seadme trükkplaadi valmimise erinevatest arendusetappidest, mis võimaldab lugejal kirjeldatu põhjal teostatut korrata. Arendusetapid on süsteemi komponentide valimine, plaadi elektriline skeemi loomine, plaadi energiatarve vähendamine ja andurseadme prototüübi valmistamine.

MATERIAL JA METOODIKA

Käesoleva artikli uurimusobjektiks on andurseade, mille ülesanne on koguda ümbritsevast keskkonnast iga 15 minuti tagant mulla niiskuse ja temperatuuri andmeid ja need edastada juhtmevaba side kaudu tugijaama. Andmete mõõtmiseks ja edastamiseks tugijaama kulub ligikaudu 2 s, tsükli ülejäänud aja kestel on andurseade magamisrežiimis (*sleep mode*), eesmärgiga tarbida võimalikult vähe energiat. Andurseadme põhikomponendid on näidatud joonisel 1.



Joonis 1. Andurseadme põhikomponendid

Andurseadme valmistamiseks valiti antud magistritöös protsessormooduliks Arduino Uno Pro Mini arendusplaat. See arendusplaat on eelkõige mõeldud projektidele, kus on oluline kompaktsus. Arduino Pro Mini on koostatud mikrokontrolleri ATmega328P baasil, millel on 14 digitaalset sisend/väljundit ja 6 analoog sisend/väljundit (korpus TQFP)[3].

Reaalajakell on elektroonilistes seadmetes kasutatav aja arvestamisega tegelev lülitus. DS3231 reaalajakell valiti põhjusel, et tal on olemas alarmi funktsioon. Alarmeid on võimalik programmeerida vastavalt kasutaja vajadusele, alates ühe sekundi pikkusest intervallist kuni pikkuseni mitu aastat [4].

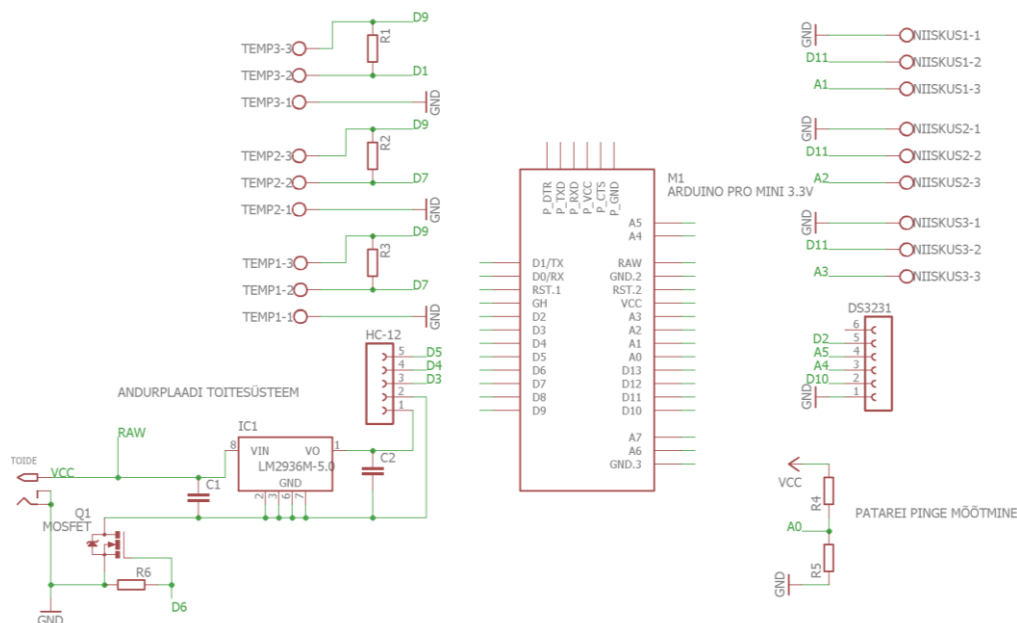
Vastavalt kirjandusallikale [5] on taime efektiivseks kasvatamiseks eelkõige olulised ümbritseva õhu niiskus, temperatuur ja pinnase niiskus ja temperatuur. Kuna õhu niiskus ja õhu temperatuur ei erine jälgitava maaala erinevates punktides suurel määral siis piisab kui neid mõõta ainult ühes punktis (sellega tegeleb tugijaam). Järelikult piisab kui vaatlusalused andurseadmed mõõdavad pinnase niiskust ja temperatuure. Mulla niiskuse jälgimiseks kasutatakse andurit SEN0193.

Vastavalt kirjandusallikale [6] tuleb mulla niiskust jälgida olenevalt taimekultuurist kas kahelt või kolmelt eri sügavusel. Sellel tuginedes projekteeritakse andurplaadile kolme mulla niiskussensori ühendamise võimalus. Temperatuure tuleks mõõta samadelt sügavustelt kui niiskust, lisaks tuleks jälgida ka näiteks maasikakasvatamisel kile alust temperatuuri. Andurplaadile projekteeritakse 3 temperatuurianduri ühendamise võimalus. Kasutatakse hermeetilise korpusega andurit DS18B20, mis väljastab informatsiooni digitaalse koodina.

Kuna jälgitav maaala on piisavalt suur, et juhtmete vedamine andurite vahel läheks keeruliseks ja kulukaks, siis andmete edastamiseks tugijaama kasutatakse raadiosidemoodulit HC-12 (valiti kuna levikauguse ja hinna suhe oli saadaolevatest kõige parem).

Andurseadmele paigaldati ka pingejagur, millelt saadud pingesignaal muundati protsessoris digitaalseks ja raadiosidemooduli abil edastati see tugijaamale. Pingejagur ise on lihtne elektriabel, mille väljundpinge moodustab osa sisendpingest [7]. Väljundpinge suurus sõltub elektriabla moodustavate takistite takistuse suhtest.

Andurseadme elektriskeem on näidatud joonisel 2.



Joonis 2. Andurseadme elektriskeem

Andurplaadi skeem joonisel 2 on koostatud võimalikult energiasäästlikuna. Toiteks kasutatakse 9 V patareid. Arduino Pro Mini arendusplaat töötab 3.3 V pingega. Tänu plaadil olevale pingeregulaatorile[3] tohib toiteviiguga ühendada 3.3-12 V pingega toiteallika. HC-12 töötab 5 V pingega[8], mille reguleerib toitepingest regulaator LM78L05ACMX. Andurplaadil kasutatakse MOSFET transistori IRL540n lülitina. Lülitatakse välja/sisse pingeregulaatori ja HC-12 toidet, et saavutada võimalikult väike energiatarve andurplaadi magamisrežiimis.

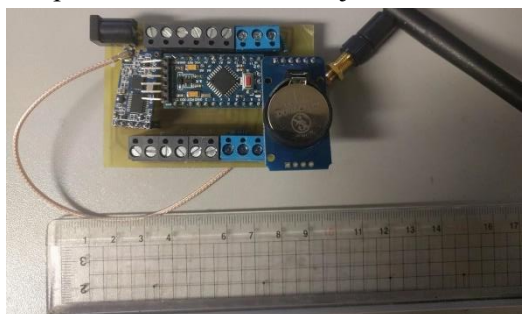
Andurseadme energiatarbe vähendamiseks on kasutatud mitmeid võtteid:

1. MOSFETI transistori kasutamine lülitina;
2. Moodulitelt leedide eemaldamine;
3. Mikroprotsessori lülitamine magamisrežiimi/äratamine kasutades reaalaajakella;
4. Muud programmilised seadistamisvõtted.

Seadme voolutarve on leitud tulemuste alajaotises.

TULEMUSED JA ARUTELU

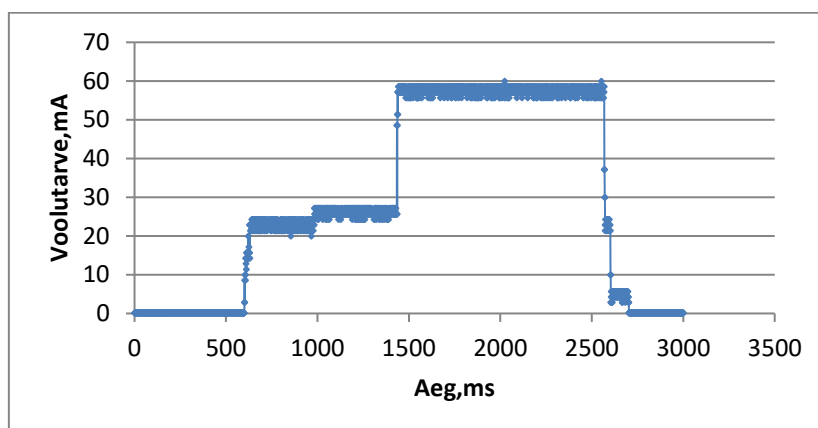
Töö tulemusena valmis joonisel 3 oleva andurseade. Andurseade on suuteline mõõtma korraga kolme mullaniiskust ja kolme temperatuurianduri väärtusi ja need edastama tugijaamale.



Joonis 3. Valminud andurseade

Kirjeldatud andurseade on suuteline maksimaalselt saatma andmeid kasutatud seadistusega 800 meetri kaugusel olemasolevasse tugijaama.

Ostilloskoobiga mõõdeti andurseedme ees asuva $56\ \Omega$ suuruse takisti pingelang. Takisti väärtuse ja takistil tekkinud pingelangu alusel saab Ohmi seadusega arvutada andurseedme voolutarve. Katse tulemus on näha joonisel 3



Joonis 3. Andurplaadi voolutarve

Mõõdetud andurseedme voolutarve magamisrežiimis on $125\ \mu\text{A}$, mõõtmisrežiimis keskmiselt $24\ \text{mA}$ ja saatmisrežiimis $59\ \text{mA}$. Erinevate programmiosade kestvused, vastavalt 900 sekundit, $0,7$ sekundit ja $1,2$ sekundit. Vastavalt mõõtmistulemustele on valemi (1) abil arvutatud sensorseedme töötsükli kestel energiaallikast kasutatud energia.

$$E = t_0 \cdot I_0 + t_1 \cdot I_1 + t_2 \cdot I_2 \quad (1)$$

kus E on energia mAh;
 I_0 – voolutarve magamisrežiimis mA;
 t_0 – magamisrežiimi ajaline kestvus h;
 I_1 – voolutarve mõõtmisrežiimis mA;
 t_1 – mõõtmisrežiimi ajaline kestvus h;
 I_2 – voolutarve saatmisrežiimis mA;
 t_2 – saatmisrežiimi ajaline kestvus h;

$$E = 0.25 \cdot 0.08 + 0.00019 \cdot 24 + 0.00033 \cdot 59 = 0.044 \text{mAh}$$

Üks tsüklil kulutab $0,0055\text{mAh}$ energiat. Patareiks on antud töös valitud 9V Alkaline patareid 6122, mille mahtuvus on $1200\ \text{mAh}$ [9]. Üldistades on võimalik leida antud patareiga võimalik töötsüklite arv:

$$a = \frac{Q}{E} = \frac{1200}{0.044} = 27272 \quad (2)$$

kus a on tsüklite arv h;
 Q – patareid mahtuvus mAh.

Valemi (2) järgi on valitud patareiga võimalik sooritada 27272 tsüklit, mis teeb ajaliselt 284 päeva.

JÄRELDUSED

Seadme projekteerimise alguses formuleeriti seadmele esitatavad nõuded, millele vastavalt kujundati seadme elektriskeem ning projekteeriti trükkplaat. Koostatud seadme tööparameetrite mõõtmistulemused kinnitavad, et õnnestus saavutada seadme madal energiatarve. Seadmega saab ühendada temperatuuri- ja mulla niiskusedurid, mille abil on võimalik keskkonna parameetreid jälgida. Suhtluseks tugijaamaga kasutatakse raadiosidet nagu algul sai määratud.

Eesmärgiks seati madal energiatarve, et andurseade suudaks toimida Eesti keskmine vegetatsiooniperioodi kestel. Andurseadme kasutamisel Alkaline 9V patareiga, mille mahtuvus on 1200 mAh, arvutuslik tööiga on 284 päeva, millest saab järeldada, et mõõteseade suudab toimida soovitud Eesti keskmine vegetatsiooniperioodi kestel. Ka see eesmärk saavutati.

Kindlasti tuleks edaspidises arendustöös kirjeldatav andurseade muuta võimalikult töökindlaks. Selleks tuleb seadmele ümber ehitada korpus, mis tagaks kaitseastme IP68. Lisaks kõik elektroonikakomponendid, mis niiskusega kokku puutudes võivad kahjustuda, tuleks katta spetsiaalse lakiga.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Jones, J. Antle, J. Basso, B. (2017). "Brief history of agricultural systems modeling", *Agricultural Systems*, vol. 155, pp 240-254, July 2017.
- [2] Keppart, L. Kadaja, J. (2017) "Ilmastikutingiuste analüüs," [online], https://www.envir.ee/sites/default/files/vaetiste_laotamise_optimaalse_sugisese_ajalise_piirangu_ekspert_hinnang.pdf (27.03.2018)
- [3] Arduino Pro Mini andmed. (2018). Arduino koduleht. [on-line] <https://store.arduino.cc/arduino-pro-mini> (27.03.2018).
- [4] DS3231 andmeleht. (2018). [on-line] <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf> (27.03.2018).
- [5] Gawali, Y. Chaudhari, D. (2016). "Wireless Sensor Network based Monitoring for Agricultural System", *International Journal of Science*, vol. 5, pp 2645-2649.
- [6] Irrometer koduleht, "Understanding Soil Moisture" [on-line] <http://www.irrometer.com/basics.html> (27.03.2018)
- [7] Sell, R. (2016). Pingejagur. [online] http://home.roboticlab.eu/et/electronics/voltage_divider (27.03.2018)
- [8] HC-12 juhend. (2018). [online] http://statics3.seeedstudio.com/assets/file/bazaar/product/HC-12_english_datasheets.pdf (27.03.2018)
- [9] Alkaline liitium patarei 6122 andmeleht. (2018). [online] https://produktinfo.conrad.com/datenblaetter/650000-674999/650930-da-01-en-VARTA_PROFESSIONAL_LITHIUM_9V_BLOCK.pdf (27.03.2018)

Ukse avamismehhanism elektrilisele ratastoolile

Door opening mechanism for power wheelchair

T. Terve

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

Abstract. In this work, special solutions are being investigated to open the door. The goal was to find a suitable solution for opening the front door, and using electric wheelchair users with weak hands. To facilitate the integration of these people into society.

Keywords: Electric wheelchairs, wheelchairs, door opening, handicapped, robotic arm

SISSEJUHATUS

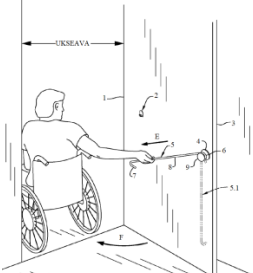
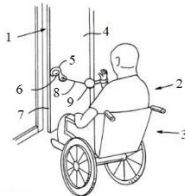
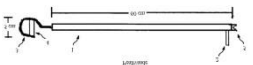


Ukse avamismehhanismi on eelkõige vaja nõrkade kätega elektrilise ratastooli kasutajatel. Hinnanguliselt on maailmas 151–302 miljonit potentsiaalset ukse avamismehhanismi kasutajat, mis teeb 2–4 % kogu maailma rahvastikust [1]. Ettekandes tuleb uurimise alla ainult tõmmatavad välisused, mis on varustatud ukseulguriga, kuna need on kõige raskemalt avatavad. Talvel hoonesse sissepääsematus võib põhjustada külmetushaigusi. Uksesulguritega hakati uksi varustama peale Euroopa Liiduga liitumist, kui võeti vastu Vabariigi Valitsuse määrus „Ehitisele ja selle osale esitatavad tuleohutusnõuded“, mis jõustus 01.01.2005 [2]. Elektrilise ratastooli kasutajate elu sõltumatuks muutmiseks on vaja luua majanduslikult kättesaadav ukse avamismehhanism.

Töö eesmärgiks oli analüüsida erinevaid ukse avamismehhanisme ja välja selgitada kõige parem. Lisaks luua enda nägemusel uus tõmmatavate välisuste mehaaniline avamismehhanism.





MATERJAL JA METOODIKA

Töös uuriti üheksat võimalust tõmmatava välisukse avamiseks. Neist neli olid mehaanilised ja viis elektrilised. Seejärel valiti välja parim seade ja anti autori poolne hinnang. Uuriti ka ust ning ukseulgurit ja mõõdeti ukse avamiseks vajalikku jõudu. Viimases etapis loodi autori poolne ukse avamismehhanismi konstruktsiooni prototüüp. Järgnevalt on toodud võrdlus tabel üheksast erinevast ukse avamismehhanismist.

Tabel 1. Ukse avamismehhanismide võrdlus

Tunnus	Nõrkade kätega ratastooli kasutajele	Elektrilise ratastooliga ühilduv	Avatava ukse lingi tüüp	Kaasaskantav	Elektriline või mehaaniline mehhanism	Tooli gabariitidesse jääv	Juhitav elektrilise ratastooli puldiga	
A	1	2	3	4	5	6	7	
1. US7938464 [3]	Ei sobi	Ei ühildu	Sobib ukseupuga ustele	Jah	Mehaaniline	Jah	Ei	
	Ei sobi	Ei ühildu	Sobib ukseupuga ustele	Jah	Mehaaniline	Jah	Ei	
2. US540468 [4]		Ei sobi	Ei ühildu	Sobib ukseupuga ustele	Jah	Mehaaniline	Jah	Ei
3. US353546 [5]		Ei sobi	Ei ühildu	Sobib ukseupuga ustele	Jah	Mehaaniline	Jah	Ei
4. US20120042475 [6]		Ei sobi	Ei ühildu	Sobib ukseupuga ustele	Jah	Mehaaniline	Jah	Ei
5. Piero [7]		Sobib	Ei ühildu	Sobib olemasolevatele ukseavamise seadmetele, mis avanevad spetsiaalsele nupule vajutades	Ei	Elektriline	Jah	Ei

Tabel 1 järg
7

A	1	2	3	4	5	6	7
6. Dora [8] 	Sobib	Ühildub	Robotkäpp suudab avada 14 erinevat käepideme tüübiga uksi	Jah	Elektriline, toite saab ratastooli akudelt	Ei	Jah
7. iARM [9] 	Sobib	Ühildub	Lingid, tõmmatavad käepidemed	Jah	Elektriline, toite saab ratastooli akudelt	Ei	Jah
8. JACO [10] 	Sobib	Ühildub	Lingid, tõmmatavad käepidemed	Jah	Elektriline, toite saab ratastooli akudelt	Jah	Jah
9. SpotMini [11] 	Sobib	Ei ühildu	Lingid, tõmmatavad käepidemed	Ei	Elektriline, omab ise akut	Ei	Ei

Kõige efektiivsemaks lahenduseks on JACO, mis avab tõmmatavaid välisuksi robotkäpa abil. Robotkäpp ühildub elektrilise ratastooli puldiga, mis tagab võimaluse selle juhtimiseks ratastooli puldi abil. Kui robotkäppa ei kasutata siis saab selle kokku pakkida, ning kokkupakkitult ei ületa see tooli gabariite.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. World report disability. (2011). World Health Organization. http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/70670/1/WHO_NMH_VIP_11.01_eng.pdf
2. Ehitisele ja selle osale esitatavad tuleohutusnõuded. (2005). *Riigi Teataja* <https://www.riigiteataja.ee/akt/12866223> (28.03.2018).
3. Hielm, E. A. (2011). United States Patent. US 7938464 B1 Door opening device for a handicapped person.
4. Fassmann, A. (1996). United States Patent. US 5540468 A Door opening and closing device for handicapped persons
5. Cacas, C. T. (2013). United States Patent. US 8353546 B1 Apparatus for opening doors
6. Chiang, M. T., Shaheen, G., Wiygul, T. J. (2012). United States Patent. US 20120042475 A1 Device to assist arthritics and other invalids in opening a door
7. Macdonald's Home Health Care. – *Picbear*. http://picbear.club/media/1598812224552466834_4068091224 (02.04.2018)
8. Rapacki, E., Lowell, U. (2009). The Design of an Underactuated Wheelchair-Mounted Robotic Arm to Unlatch Door Knobs and Handles
9. iARM. – *Exact Dynamics*. <http://www.exactdynamics.nl/site/?page=iarm> (02.04.2018)
10. JACO 3 Fingers. – *Kinoarobotics*. <http://www.kinovarobotics.com/assistive-robotics/products/robot-arms/> (02.04.2018)
11. Hey Buddy, Can You Give Me a Hand? – *BostonDynamics*. https://www.youtube.com/watch?time_continue=2&v=fUyU3lKzoio (02.04.2018)

SMED metoodika rakendamine tootevahetustel

V. Ilumäe

EMU, Tehnika instituut, biomajandustehnoloogiate õppetool

Abstract. The target was to reduce time of product changes on 4th foam production line in other words to reduce the wasting in company Krimelte. To accelerate the product changes are used in Japan developed Single Minute Exchange of Die principles, where first all activity is measured. Then is allocated external activities from internal activities and after that all the activities are changed maximum effective. The result of this work is that after SMED implementation are possible to make 4 product changes with same time as 1 product changes before.

Keywords: SMED, product changes, production efficiency

SISSEJUHATUS

Läbi SMED metoodika oskusliku rakendamise tootevahetuste analüüsimisel, parendustegevuste määramisel ja ellu viimisel on võimalik tootevahetuste aega ja kulu oluliselt vähendada. Lühend SMED tuleneb inglise keelsest (Single Minute Exchange of Dies) ning tähendab eesti keelde tõlgituna „ümberseadistus minutiga“.

Ettevõtte põhitoodanguks on aerosoolvahud, millest enamik on n.ö kliendi toode. Vahu tootmine on tellimuste põhine ja sõltuvalt tellimusest võib 1 partii suurus olla min 1 alus ehk 672 pdl kuni 33 alust. Täna on keskpäraseks tellimuste suuruseks ca 3500 pdl ja vahetuse jooksul tehakse keskmiselt 4 tootevahetust.

Lean põhimõtete aina suurem kasutusele võtmine kaubanduses ja jaotusprotsessiga seotud ettevõtetes on tootmisettevõtete jaoks toonud kaasa palju uusi lahendamist vajavaid väljakutseid. Laovarude optimeerimine ja toodete sortimendi pidev suurenemine on viinud tellitavate partiide suuruse pideva vähenemiseni. Tootjate jaoks toob see kaasa vajaduse toota samuti väiksemaid partiisid, ehk teha tihedamini seadmetel tootevahetusi. Mitte kõik seadmete tootjad ei arvesta nende trendidega ja palju on veel seadmeid, kus tootevahetus kestab liiga kaua.

Seega, tootmisettevõtetel, kus sellised probleemid esinevad tuleks midagi ette võtta. Appi tuleb tehnika, mida tuntakse laialdaselt SMED (Single Minute Exchange of Dies) nimetuse all. Seda tehnikat võiks iseloomustada läbi selle, et kui lean pakub välja seoses seadmete tööga mitmeid tööriistu, mis on suunatud seadmete töötamise efektiivsemaks muutmisele, siis SMED on tehnika, mis on suunatud seadmete seisakute aja lühendamisele ja läbi selle võimaliku töötamise aja suurendamisele.[1]

Tootevahetuste kestvus on erinev, sõltudes suuresti tootevahetuse mahust ehk kas kas vahetatakse ainult pakend või tuleb lisaks vahetusele muuta ka masinate kõrgusi ja vahetada ka resin. Eesmärk on SMED metoodikaga tootevahetustele kuluvat aega vähendada 52-lt minutilt 10 minutini. Ettevõttel on kokku 4 eraldi aerosoolvahtude tootmisliini. SMED metoodika viidi läbi 4. liinil.

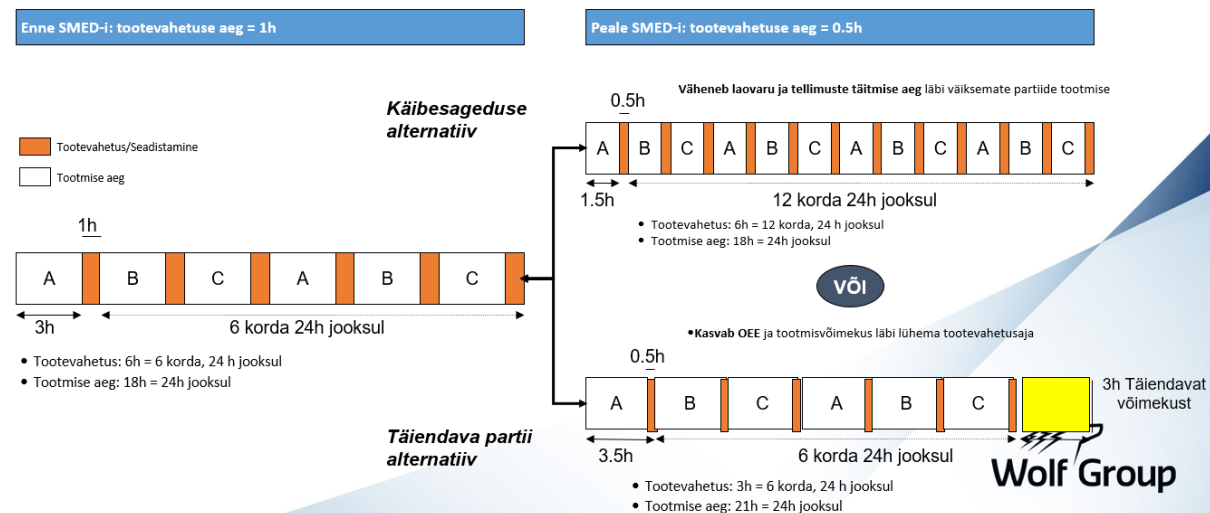
MATERJAL JA METOODIKA

SMED (*Single Minute Exchange of Die*) on protsesside optimeerimise tehnika, mis algselt töötati välja tootmisliinidel tootevahetuse aja või liini käivitamiseks kuluva aja vähendamiseks. SMED-i tehnika töötas välja Shigeo Shingo 1950. aastatel Mazdas. Peamine moodus selle aja vähenemiseks seisneb välise ja sisemiste tegevuste eraldamises, kus välised on need tegevused, mida saab ettevalmistavalt teha ka siis, kui masin või tootmisliin veel käib ning tegevused, mida saab ainult siis teha, kui masin või liin on seisma pandud. Keskmises ettevõttes on üsna tavapärane olukord selline, kus väliseid tegevusi

algul ei olegi, mis tähendab seda, et isegi ettevalmistavad tööd (nagu varuosade masina juurde toomine, kui see veel vana formaadiga töötab) on üldjuhul tegemata.[2]

Vabanenud aega saab kasutada kahel eesmärgil: võimalik on teha suuremaid partiisid või lubada rohkem formaadivahetusi (Joonis 1). Lean-ettevõtte eelistab tavaliselt viimast, et paindlikumalt reageerida kliendi nõudmistele ning vältida ületootmist.

1. SMED aitab vähendada varude taset ja tõsta tootmissüsteemi efektiivsust läbi väiksemate, kuid tihedamini toodetavate partiide,
2. või aitab tõsta tehase tootmisvõimekust läbi OEE (overall efficiency of equipment)



Joonis 1. SMED'i tulemuste kasutamise 2 võimalust [3]

Figure 1. The opportunities to use SMED results.

Enne 4 liini ümberehitust 2016.aastal tehti vahetuses keskmiselt 1,8 tootevahetust. Peale ümberehitust on keskmine tootevahetuste arv tõusnud 3,4-ni vahetuse kohta. Kasvu põhilisteks teguriteks on:

- Suurenenud formulatsioonide arv;
- Laienenud toorainete tootmisvõimekus;
- Vähenenud keskmise töökäsu suurus

Tootevahetuse käigus vahetatakse/muudetakse:

- Pudel
- Ventii;
- Blend;
- Blendi ja MDI kogus pudelis;
- Gaaside kogus pudelis

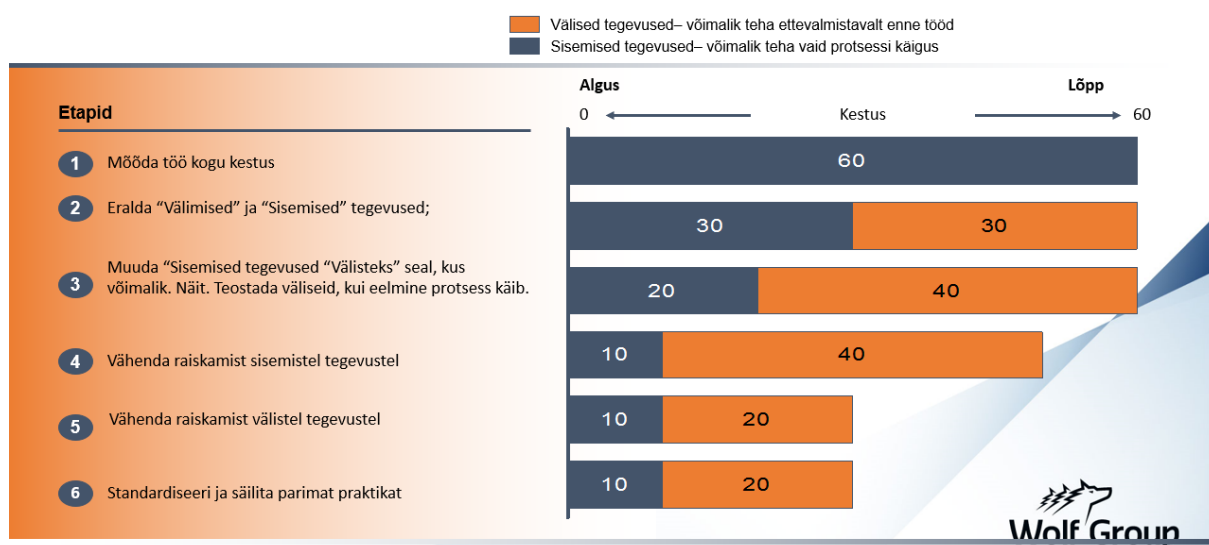
Blend – polüoolide ja lisandite segu. Lisanditeks on stabilisaatorid, plastifikaatorid värvained jt.

MDI – metüleen difenüül disotsüanaat

Arvestades asjaolu, et 2018 lõpuks võib isegi keskmine kaaluvahetuste arv tõusta 4-ni, siis on ilmtingimata vajalik vähendada tootevahetuse kestvust. Kui enne SMED'i läbiviimist oli algne eesmärk vähendada tootevahetusele kuluvat aega vähemalt 50%, siis peale esimesi tulemusi panime eesmärgiks teha tootevahetus ära 10 minutiga.

Et SMED'i edukalt rakendada, tuleb läbida 6 etappi (joonis 2). Joonisel 2 on koolitusmaterjali näitena illustreerituna välja toodud erinevad tegevused koos näitliku tootevahetuse aja jaotustega.

Kuus etappi SMED-i läbiviimisel



Joonis 2. SMED'i tegevusplaan [3]

Figure 2. Action plan of SMED

Täpsemaks analüüsiks sai koos erinevate tööoperatsioonide mõõdistamisega tehtud ka Spageti diagramm (*Spaghetti plot*), mis visuaalselt aitab kaasa kogu operaatori tegevuste analüüsimisel. Spageti diagramm on visuaalne kujutus, mis näitab inimese, objekti või tegevuse tehnoloogilist teekonda mingi protsessi raames kasutades pidevat vooluliini. Pidev vooluliin võimaldab protsessi meeskonnal tuvastada töövoogude kitsad kohad ja võimalusi protsessi voolu kiirendamiseks. Spageti diagramm on kiire ja lihtne viis selleks, et jälgida osade ja inimeste vahelisi kaugusi tööruumides.

TULEMUSED JA ARUTELU

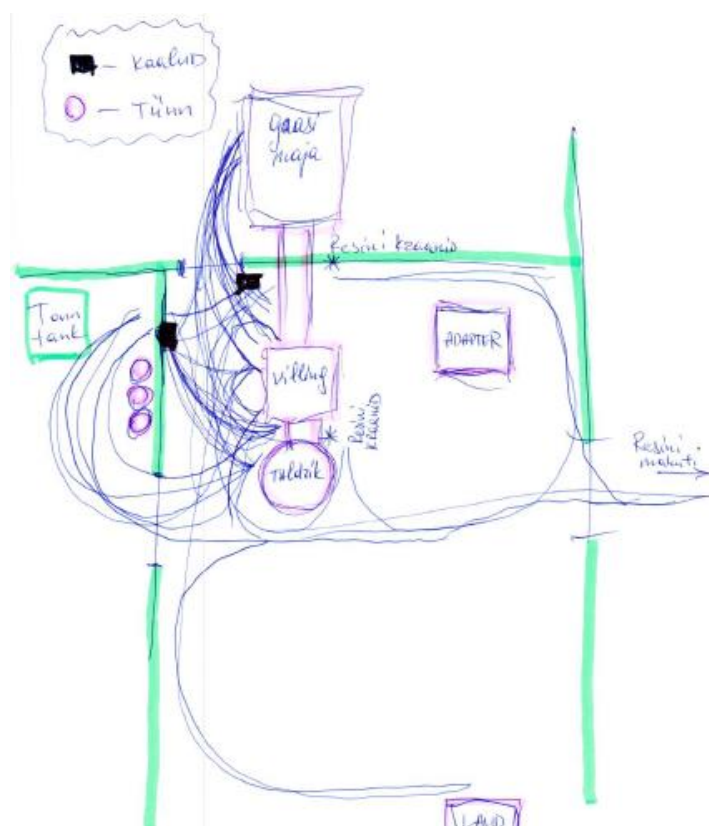
Esimene tootevahetuse analüüsi tulemused on toodud tabelis 1, kus on operaatori poolt tehtud kõik tegevused kronoloogilises järjestuses koos ajalise kestvusega. Esimeste tulemuste analüüsimisel tuleb ühtlasi vaadata ka Spageti diagrammi (Joonis 3) ning saab järeldada, et väga palju kulub operaatoril aega täieainete (Blendi ja MDI) kui ka gaaside kaalumiseks ja kaalukontrolliks. Enne SMED'i rakendamist kestis tootevahetus 52 minutit.

Tabel 1. Operaatori tegevused kaaluvahetusel enne kaaluvahetuse SMED'i

Table 1. Operator work before the SMED of productchange

Nr.	Tegevus	Algus	Lõpp	Kestvus	Kategooria	
		aeg	aeg	aeg, s	Sisemine	Välimine
1	Pudelite lugemine	4:40	4:50	0:10	-	x
2	Tõi resinile kanistri	4:46	4:46	0:00:15	-	x
3	Pudelite lisamine	4:50	4:51	0:01	x	-
4	Liini käivitamine, täitmine	4:51	4:54	0:03	x	-
5	Liini tühjendamine gaasimajas	4:54	4:55	0:01	x	-
6	Pudeli kõrguse seadistamine (täitmises)	4:55	4:57	0:02	-	x
7	Ventiilipanija kõrguse seadistamine	4:57	4:59	0:02	-	x
8	Valtsi kõrguse seadistamine	4:59	5:01	0:02	-	x

9	Ventüli kontrollija seadistamine	5:01	5:01	0:00:05	-	x
10	Gaasimajas kõrguse seadistamine	5:01	5:03	0:02	-	x
11	Gaasimajas kaalu seadistamine	5:03	5:05	0:02	-	x
12	Isobutaani kaalukontroll	5:05	5:07	0:02	x	-
13	Peopaani kaalukontroll	5:07	5:07	0:00:30	x	-
14	DME kaalukontroll	5:07	5:09	0:02	x	-
15	Gaasi kaalu seadistamine (ISO, DME, but.)	5:09	5:11	0:02	x	-
16	Gaaside kaalukontroll (ISO, DME, BUT)	5:11	5:12	0:01	x	-
17	Blendi ümberlülitamine	5:12	5:14	0:02	x	-
18	Blendi pumpamine dosaatoritest	5:14	5:15	0:01	x	-
19	Blendi pumpamine täitepeadest	5:15	5:17	0:02	x	-
20	Viis vana resini tunni	5:17	5:17	0:00:20	-	x
21	Kaaluvahetus täitmises (BLEND+MDI)	5:17	5:19	0:02	x	-
22	Kaalukontroll (BLEND+MDI)	5:19	5:20	0:01	x	-
23	Blendi seadistamine	5:20	5:21	0:01	x	-
24	Blendi täiendkontroll	5:21	5:23	0:02	x	-
25	Utiliseerimine BLEND+MDI	5:23	5:24	0:00:30	-	x
26	Automaatse kaalu seadistamine	5:24	5:25	0:01	-	x
27	Töökäsu täitmine (komplekteerimises)	5:25	5:26	0:01	-	x
28	Uue töökäsu pudelid taldrikule	5:26	5:27	0:01	x	-
29	Pudelid läbi täitmismasina (käsirežiimis)	5:27	5:28	0:01	x	-
30	Lisa kaalukontroll	5:28	5:28	0:00:30	-	x
31	Kiiruse ja temperatuuri seadistamine	5:28	5:29	0:01	x	-
32	Pudelite lisamine taldrikule	5:29	5:30	0:00:30	x	-
33	Gaasimajas pudelid läbi tähiku	5:30	5:31	0:01	x	-
34	Valmispudeli kaalukontroll	5:31	5:32	0:01	x	-
-	(kaaluvahetus lõpetatud)	-	-	00:52:25	-	-

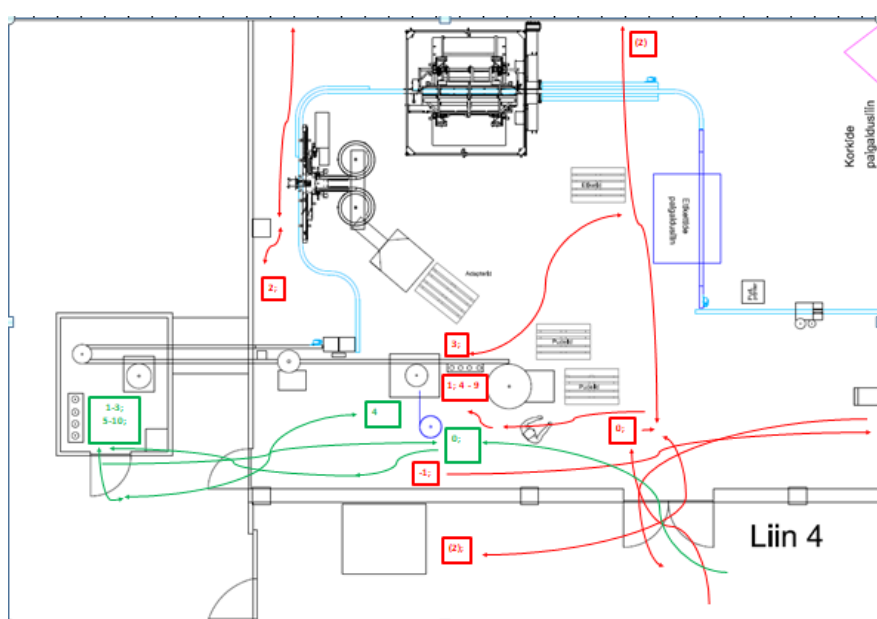


Joonis 3. Spagethi diagramm – operaatori liikumised enne SMED'i tootevahetusel.

Figure 3. Spaghetti plot – the operator movements before SMED

Lisaks on tööoperatsioonide tegemise järjestus vale, sest kui muuta tööde järjestust selliselt, et tootevahetusel tegeletakse ainult sisemiste tegevustega ehk tegevustega, mida ei ole võimalik muul ajal teha, siis saab teha tootevahetuse palju kiiremini.

SMED'i rakendamise korraldatakse operaatori töökoht, arvestades ka spaghetti diagrammi liikumisi tõsteti tööriistad ja kaal ringi ning tootevahetuse tegemisse kaasati ka operaatorite vahetusvanem. Operaatorite liikumised tootevahetuse vältel on toodud joonisel 4, kusjuures välimised tegevused on tehtud eelnevalt ja ei pea seetõttu enam kajastuma antud joonisel.



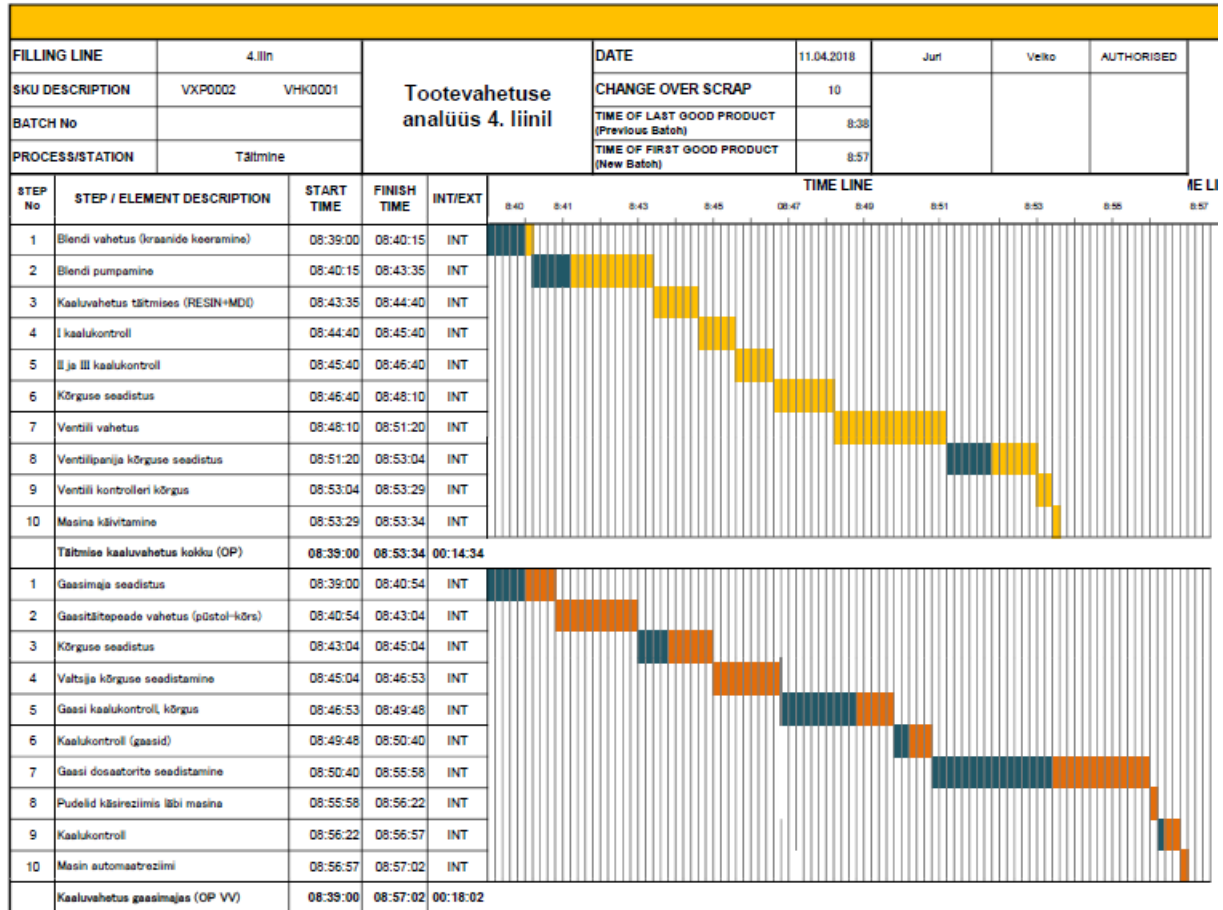
Joonis 4. Spagethi diagramm – operaatorite liikumised tootevahetusel peale SMED'i.

Figure 4. Spagetti plot – the operator movements on product change after SMED.

Vastavad tulemused on tabelis 2. SMED'iga määratleti ära ka kõik tegevused ja välimised tegevused tehti ära juba enne tootevahetust ehk eelmise toote lõpus.

Tabel 2. Tootevahetuse analüüs 4. liinil peale SMED'i.

Table 2. Change over analysis on 4th line after SMED.



Tootevahetuse kestvuseks 4. liinil saime 18 min ja 02 sek. Kuigi see tulemus on väga hea võrreldes algupärasega, see siiski ei ole veel lõplik. Antud joonise ajatulpades on lõigud, mida saab veel lühendada märgitud sinisega. Eelkõige puudutavad need täiendavaid investeeringuid. Gaaside täitmise saab kiiremaks just eelkõige operaatori jalutustekonna lühendamise arvelt, mil on vaja osta ja paigaldada ainete kaalumiseks kaal gaasimajja. Täiteainete vahetuses on vaja ümberehitada ainete kollektor, millele on vaja lisada pneumaatilise juhtimisega klapiid ning veel ka ringiehitada ventiilipanja.

Kui hetkel eeldada, et need tegevused ka oleksid tehtud, siis väheneks kaaluvahetuse kestvus 11-le minutile.

JÄRELDUSED

Kui algul kestis tootevahetus 52 min ja seda tegi operaator üksi, siis peale SMED'i rakendamist, mille käigus muutsime tööoperatsioonide järjestust, välimised tegevused tehti ära juba enne tootevahetust teise toote ajal, jagasime tööd, arvestades nende ajalist kestvust, kaheks ja panime lisaks tootevahetuse tegemisele appi operaatori vahetusvanema, siis saavutasime hetkel tulemuse 18 min, kuigi peale lõplikke parendusi ei kesta tootevahetus rohkem kui 11 minutit.

Tabel 2. 4.liini toodangu mahu sõltuvus tootevahetuste arvust ja kestvusest.

Table 2. The number of product changes and duration dependence production volume of 4th line.

<u>Tootevahetuste arv vahetuses</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>
<u>Tootevahetuse kestvus enne SMED, min</u>	<u>52</u>	<u>52</u>	<u>52</u>	<u>52</u>	<u>52</u>
<u>Tootevahetuse kestvus, min</u>	<u>11</u>	<u>11</u>	<u>11</u>	<u>11</u>	<u>11</u>
<u>Liini tootlikkus, pdl/min</u>	<u>42</u>	<u>42</u>	<u>42</u>	<u>42</u>	<u>42</u>
<u>Liini tootlikkus, pdl/h</u>	<u>2 520</u>	<u>2 520</u>	<u>2 520</u>	<u>2 520</u>	<u>2 520</u>
<u>Toodangu maht enne SMED'i, pdl</u>	<u>17 976</u>	<u>15 792</u>	<u>13 608</u>	<u>11 424</u>	<u>9 240</u>
<u>Toodangu maht pärast SMED'i, pdl</u>	<u>19 698</u>	<u>19 236</u>	<u>18 774</u>	<u>18 312</u>	<u>17 850</u>
<u>Toodangu kasv vastavalt tootevahetustele</u>	<u>9,6%</u>	<u>21,8%</u>	<u>38,0%</u>	<u>60,3%</u>	<u>93,2%</u>

4.tootmisliini kiirus on 42 pdl/min ehk 2520 pdl/h. Arvestades vahetuse kestvuseks 8 h ja kuni 4 tootevahetust vahetuses, siis on võimalik toota peale SMED'i rakendamist 18312 pdl/vahetus. Võrreldes algupärasega, mis oli 11424 pdl/vahetuses on nüüd võimalik toota vahetuses 60,3% rohkem. Kindlasti ei olnud iseenesest kaua kestev kaaluvahetus probleemiks siis, kui oli vaja teha 1 kaaluvahetus ööpäevas, aga tänases turusituatsioonis, kus kliendid tellivad aina rohkem erinevaid tooteid ja väiksemates kogustes on kiire tootevahetus väga oluline ja ettev'ete, kes suudab oskuslikult rakendada timmitud tootmise tööriista, SMED'i, on konkurents ja suudab teenida kasumit. Antud juhul on siinkohal kõige suurem kasum raiskamiste vähendamiste arvelt.

Samuti võib järeldada, et SMED on pidev protsess ja *lean* tootmises pidevas kasutuses olev tehnika. Iga aktsiooni järel tootevahetuseks kuluv aeg väheneb. Esimestel kordadel väga suures ulatuses, hiljem aga aina vähem ja vähem.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Kiire tootevahetus SMED tehnikaga. Kättesaadav 24.03.2018:
<http://www.tjo.ee/kiire-tootevahetus-smed-tehnikaga>
- [2] Lean meetodid ja terminid. Kättesaadav 24.03.2018: <http://leanway.ee/smed>
- [3] R. Erman, Koolitusmaterjal „Lean Akadeemia WolfGrupis“, 2018.

Teekatte pinna analüüs infrapunaanduri abil

Road surface analysis with infrared sensor

V.Kört, A.Küüt

Eesti Maaülikool, Tehnikainstituut, Biomajandustehnoloogiate õppetool

Abstract. An IR sensor is an electronic instrument that scans IR signals in specific frequency ranges defined by standards and converts them to electric signals on its output. The IR signals are mainly used for transmitting commands over the air on short distances like what you've already worked with on TV remote controls or other similar electronic devices, but you can use it a whole different way. In this article we use infrared sensor IRID to detect water, snow and ice on the road. This article gives a small overview how the measurements are taken and how was our measuring methodology worked out. At the end there is a small section of conclusions and also given some tips and proposals by writer what he would do differently to make it better.

Keywords: Road surface, infrared sensor, water, ice, snow, reflectance sensor.

SISSEJUHATUS

Ilm on üks suurimaid mõjutajaid liiklusõnnetuste tekkeks. Selleks, et ennetavalt avastada ebasoodsaid ilmastikutingimusi ning liiklusõnnetusi vältida, tuleb anda autojuhtidele võimalus ohtlike tingimuste avastamiseks ning hoiatuste saamiseks. Jää, lumi ja vesi muudavad sõiduki rataste haardetegurit märgatavalt, seega tuleb leida võimalus seadmega teelusid tuvastada. Käesolevas artiklis uurimegi lähemalt teekatte pinnal tuvastatavaid ilmastikunähtusi infrapunaanduri abil.

Infrapunakiirgus on lühidalt defineerides magnetkiirgus, mille lainepikkus jääb nähtava valguse ja mikrolainekiirguse lainepikkuse vahele. Infrapunakiirgus jääb meile argielus küll silmale märkamatuks, kuid ometi ümbritseb see meid kõikjal, olles näiteks televiisori kaugjuhtimispuuldis või mobiiltelefonis. Seda kasutatakse sihtmärgi tuvastamisel ja jälgimisel sõjaväes, temperatuuri mõõtmisel vahetu kontaktita, lähimaa traadita andmesideühendusel ja ilmaennustamisel. [1] Infrapunakiirgust saab kasutada ka teistel otstarvetel. Näiteks tänavatel jää, vee või lume tuvastamiseks, et tuvastada teekatte libedusaste. Artiklis käsitleme infrapunaandurit, vee lume ja jää olemasolu tuvastajana sõiduteel.

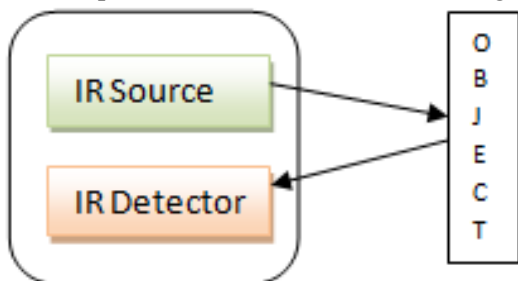
MATERJAL JA METOODIKA

Antud artikli käigus on uuritud teekatte pinnal esinevad ilmastikunähtusi infrapunaanduri (*Infrared Road Ice Detection System IRID*) abil, mis on aktiivne infrapuna kaugseire andur. See andur pakub eeliseid maa külge kinnitatud andurite ees, kuna tal on väiksemad paigalduskulud, madalam maksumus, suurem ohutus ja annab paremaid tulemusi. [2]

Kuna tegu on aktiivse infrapunaanduriga, siis kasutab ta nii infrapunasaatjaid, kui ka infrapunavastuvõtjaid. Nende tööpõhimõtte seisneb selles, et nad edastavad energiat kas valgusdiodist (LED) või laserdiodist. Sellist tüüpi infrapunaandurite puhul valgustab LED või laserdiod sihtmärgi ning mõõdab peegeldunud energiat

vastuvõtjaga. Vastuvõtjateks kasutatakse tavaliselt fotoelemente, fotodioode või fototransistoreid. Mõõdetud andmeid töödeldakse seejärel soovitud teabe saamiseks erinevate signaalitöötlusalgoritmidega. Aktiivsed infrapunaandurid suudavad mõõta vajalikke andmeid nii öösel kui päeval. [3]

Kuna tegu on seadmega, mis mõõdab teeolusid teatud distantsi kauguselt, on kasutusel peegeldumise põhimõttel olevad infrapunaandurid. Sellises anduris asuvad ühes korpuses infrapuna saatja kui ka vastuvõtja nii, et saatjast minev signaal peegeldub tagasi vastuvõtjasse (joonis 1). Peegelduva valguse suurus sõltub pinna peegeldumisvõimest. [3] Veel ja jääl on erinev spektri peegeldumisvõime infrapuna lähedus- ja keskmises piirkonnas. [2] Tänu sellele ongi võimalik mõõta erinevaid materjale. Kuiv-märg, vesi, lumi ja jää annavad erinevaid väärtusi, mille tõttu on võimalik pinda analüüsides aru saada millega tegu.



Joonis 1. Peegeldusanduri tööpõhimõte. Allikas: [3]

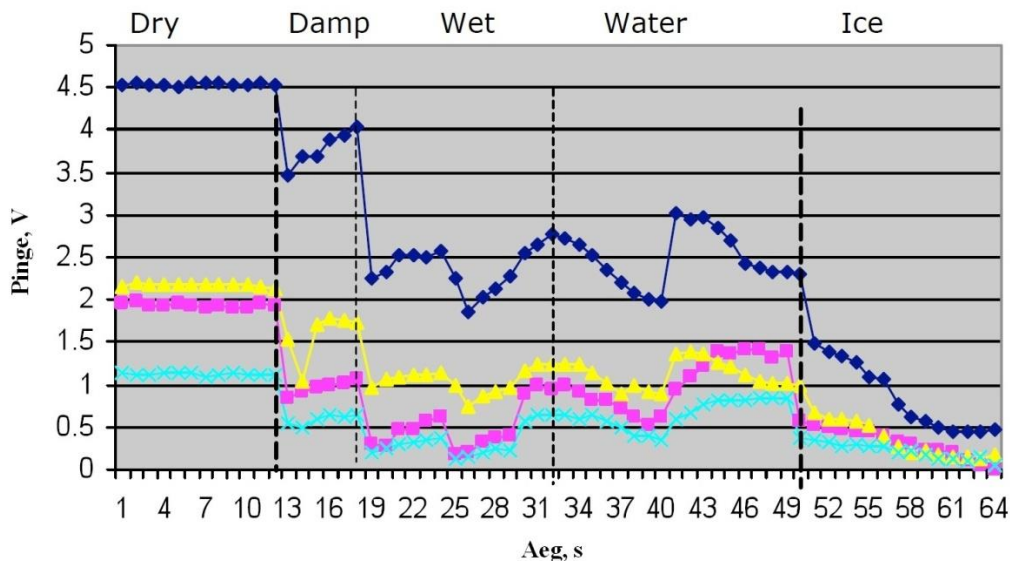
Figure 1. The operation of the reflectance sensor

Kuna *IRID* -seadmega tekkisid peale katsetuste algust riistvaralised probleemid ja andurit oli vaja vahepeal parandada, tehti lume ja jää mõõtmised talvekuudel ning ülejäänud mõõtmised suvel jälgendades talviseid ilmastikutingimusi. Seega loodi kunstlikult märjad ja jäised tingimused. Selleks kasutati veega pirtsimise meetodit, et tekitada niisked ja märjad teeolud. Tugeva vihma simuleerimiseks kasutati lihtsalt rohkelt vett. Jää loomiseks kasutati külma jää plokkide (CO_2), et teekate maha jahutada, ning seejärel pritsiti tee veega üle, et tekiks jää. Mõõtmisi tehti 5,5m kõrguselt sillalt. Seadmega ühes kasutatakse tarkvaraprogrammi *toolset*, milles määrati ära lainepikkused (1430 ja 1550 nm) ja polarisatsioonid ehk võnkesuunad (P ja S). Just need väärtused on need, mida kasutati mõõtmis- ja iseloomustamisprotsessis teede pinna ilmastikutingimuste mõõtetulemuste jaoks. [3]

TULEMUSED JA ARUTELU

Iga ilmastikuosa kohta tehti 12 mõõtmist. Alljärgneval joonisel on näha suvel mõõdetud ilmastikutingimusi jälgendatud tulemused (joonis 2). Joonisel on tähistatud nelja erineva värviga katsete tulemused, mis on mõõdetud kahel sagedusel kasutades kahte polarisatsiooni. Sinine joon tähistab 1840 nm sagedust ja S polarisatsiooni, roosa joon tähistab 2875 nm sagedust ja S polarisatsiooni, kollane joon tähistab 1840 nm sagedust ja P polarisatsiooni ja helesinine 2875 nm sagedust ja P polarisatsiooni. [2] Jooniste x-teljel on näha aeg ja y-teljel signaali tugevus, mis on toodud välja voltides. [2] Märjal teel on näha hüppelised muutused, kuid need tulenesid aurustumisest [2] Jää

mõõtmisel on näha sujuvat negatiivset kallet, kuid see tulenes asjaolust, et katse tehti suvel ja jää peale sulas väga kiiresti veekiht.

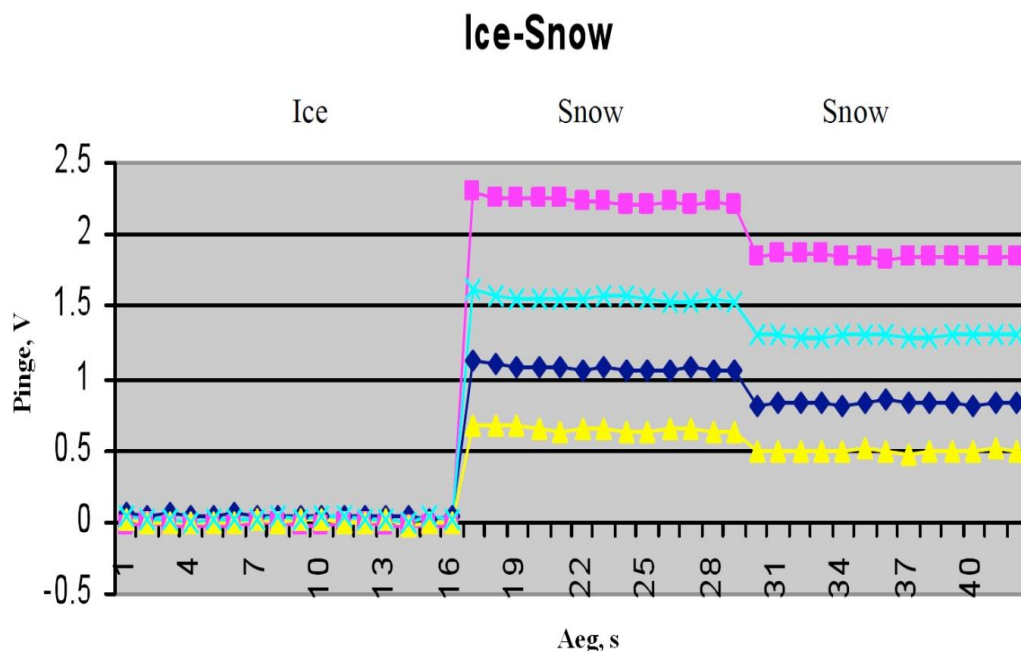


Joonis 2. Suvel tehtud mõõtmised. Allikas: [2]

Figure 2. Summer measurements

Kõige paremaid tulemusi annavad artikli koostaja arvates sinisega kujutatud mõõtmised, mis on tehtud sagedusega 1840 nm ja võnkesuunaga S. On selgelt näha voltide erinevused. Kuiva tee väärtus on umbes 4,5volti, mis on praktiliselt konstantne. 3,5 - 4voldi vahemiku väärtus näitab, et tee on niiske, umbes 2 ja 3 voldi vahel on vesi. Jää tulemused liiguvad siiski alla 0,5voldi. Sujuv negatiivne kallak tuleneb suvesoojast ning jääkihi peale kiirelt tekkinud veekihist. Erinevad tulemused on selgelt eristatud.

Eraldi on ka välja toodud lume ja jää mõõtmistulemused, mis on tehtud talvel (joonis 3). Nende mõõtmiste puhul ei olnud enam vaja jälgendada ilmastikuolusid.



Joonis 3. Talvel tehtud mõõtmised. Allikas: [2]

Figure 3. Winter measurements

Joonisel on selgelt näha, et kõikide sageduste ja polarisatsioonidega mõõdetud tulemused on väga hästi välja joonistunud ja konstantsed. Jätkuvalt sobib autori enda arvates kõige paremini eelmist pilti vaadates sagedusega 1840 nm ja võnkesuunaga S mõõdetud sinised jooned, sest jää on umbes 0,3 voldi juures ja lumi umbes 0,8 - 1,2 volti. Kui nüüd sellel sagedusel liita joonis 2 ja 3 kokku, saaks väga selgelt eristatavad tulemused erinevatele ilmastikuoludele.

Kui on soov ise mõõta ja katseid teha, pakun välja lahendusena idee, kuidas seda taskukohase hinnaga läbi viia.

Komponendid mida läheb vaja:

- Infrapuna andurid - *SparkFun AS7263 Spectral Sensor Breakout* [4]
- Arduino mikrokontroller [5]
- Loogika tasememuundur - *SparkFun Logic Level Converter* [6]
- *Bluetooth* moodul - HC-06 [7]
- *Android*-baasil töötav telefon
- Rakendus "*Arduino Bluetooth Terminal*" [8]

Anduritega *SparkFun AS7263 Infrared Spectral Sensor* on võimalik mõõta ja iseloomustada, kuidas erinevad materjalid neelavad ja peegeldavad valgust erinevatel lainepikkustel. [4] Et protsessi läbi viia oleks vajalik ühendada komponendid omavahel ning kirjutada vajalik kood. Andurid ühendatakse arduino mikrokontrolleriga kas I²C

JÄRELDUSED

Uuringus tuleb välja, et infrapunaanduriga on võimalik selgelt eristada erinevaid ilmastikuolusid (vesi, lumi, jää). Erinevate sageduste ja võnkesuundadega katsetades saab erinevaid tulemusi. Kõige paremaid tulemusi, autori arvates, annavad joonistel sinisega kujutatud mõõtetulemused, mis on tehtud sagedusega 1840nm ja võnkesuunaga S, kuna kuiv, niiske, märg tee, lumi ja jää on täiesti erinevas pinge vahemikus ja ei kattu üksteisega. Lisaks saab veel paigaldada sarnase anduri ka auto külge ning mõõta teeolusid sõidu pealt. Seejärel saab tulemuste abil välja arvutada haardeteguri ja pakkuda välja soovitatav sõidukiirus. Tänapäevane tehnoloogia võimaldab kasutada ka kaamerat ning masinnägemist, mis aitab sarnaseid teeolusid tuvastada

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] T.Timusk, “Infrapunakiirgus” [Online]. Available: <http://veebiakadeemia.ee/puramiiditipus/thomas-timusk/infrapunakiirgus/> [20.03.2018].
- [2] Northland advanced transportation systems research laboratories, “Survey and Evaluation of Ice/Snow Detection Technologies” [Online]. Available: http://www.d.umn.edu/natsrl/documents/FY2003reports/IRID_2003.pdf [28.03.2018].
- [3] P.Jain, "Infrared Sensors or IR Sensors" [Online]. Available: <https://www.engineersgarage.com/articles/infrared-sensors?page=2> [28.03.2018].
- [4] “SparkFun Spectral Sensor Breakout - AS7263 NIR (Qwiic)” [Online]. Available: https://www.sparkfun.com/products/14351?_ga=2.204415440.1366815746.1522766836-416116077.1520273410 [28.03.2018].
- [5] “Arduino Leonardo” [Online]. Available: https://www.oomipood.ee/product/a000057_arduino_leonardo [03.04.2018].
- [6] “SparkFun Logic Level Converter - Bi-Directional” [Online]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/12009> [03.04.2018].
- [7] “Bluetooth moodul - HC-06” [Online]. Available: https://www.oomipood.ee/product/hc_06_bluetooth_moodul_hc_06?q=hc-06&s=2 [03.04.2018].
- [8] “Arduino Bluetooth Terminal” [Online]. Available: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.frederikhauke.ArduToothleonardo> [03.04.2018].

Läbivoolulise lämmastikplahvatusel põhineva bioetanooli tootmiseseadme plahvatusdüüsi arendamine

Design and construction of the explosion nozzle for continuous process bioethanol production based on nitrogen explosion

V. Polis, V. Rooni, T. Kikas

Estonian University of Life Sciences, Institute of Technology, Department of Agriculture and Production Engineering

Abstract. The aim of this research paper is to find out dimensions of nozzle that is used in bioreactor for a pretreatment method to break the hemicellulose and lignin seal around the cellulose macro fibrils in the cell walls of the lignocellulosic biomass in order to open up the biomass structure for more efficient enzymatic hydrolysis. The research concluded that the nozzle is a useful device for research work, but it needs to be tested for further developments.

Key words: nozzle, orifice, bioethanol, pretreatment, explosion, nitrogen, biomass.

SISSEJUHATUS

Energiatarbimise ja fossiilsete kütuste ammendumise kasvu tõttu ei pruugi fossiilsete kütustest energia saamine enam jätkusuutlik olla. Maaailma fossiilkütuste tarbimine transpordisektoris moodustab 60%, mis tekitab tohutut CO₂ reostust meie ökosüsteemis. Nende puuduste tõttu on hakatud uurima ja tootma biokütuseid. Biokütused on sisepõlemismootoris kasutatav vedelkütus, mis on toodetud biomassist. Põhilised biokütused on biodiisel ja bioetanool. Bioetanool on 68% madalama energiasisaldusega võrreldes bensiiniga, kuid bioetanooli kõrgem hapnikusisaldus teeb ta põlemise puhtamaks, mille tulemusel väheneb toksiliste ainete eraldumine[1]. Bioetanool aitab CO₂ reostust vähendada võrreldes bensiiniga, sest selle tootmiseks ei pea maavarasid välja kaevama. Taim omastab õhust süsihappegaasi ning bioetanooli põlemisel vabaneb sama hulk süsihappegaasi, nagu taim seda tarbis, ehk CO₂ koguheide jääb nulli.

Praegusel ajal toodetakse kõige enam esimese põlvkonna biokütuseid, ehk kütuseid, mis on toodetud peamiselt suhkrutest, teraviljast või seemnetest. Kõige tuntum esimese põlvkonna biokütus on etanool, mis saadakse suhkru kääritamise teel. Kuna esimese põlvkonna biokütuste tootmiseks kasutatakse toiduaineid, on selle tootmise jätkusuutlikus kahtluse all, kuna see on vastuolus toidu varustamisega. Teise põlvkonna biokütuseid toodetakse lignotselluloosest materjalist, mis pole taime söödav osa, st., et ta ei konkureeri toiduainetega. Selle tõttu on hakatud uurima teise põlvkonna biokütuseid. Teise põlvkonna biokütuste tootmine vajab keerukaid töötlemisseadmeid, suuremaid investeringuid ja suuremahulisemaid rajatisi, mis võimaldaks kokku koguda kaas- ja kõrvalproduktid bioetanooli tootmisest, mis vähendaksid biokütuste tootmiskulusid. Selle kaubanduslik tootmine on alles väljatöötamisel [2, 3].

Eeltöötlus on esimene ja kõige tähtsam samm bioetanooli tootmiseks lignotselluloosest biomassist. Eeltöötamise eesmärgiks on eraldada hemitselluloos ja

ligniini, ja tselluloosi kristallilise struktuuri lõhkumine. Eeltöötuse tähtsaim eesmärk on suurendada ensümaatilise hüdrolyüsi efektiivsust, mis omakorda suurendab kääritatavate suhkrute saagikust [4]. Eeltöötlusmeetodid jagunevad nelja kategooriasse: bioloogilised, mehaanilised, keemilised ja füsio-keemilised [5]. Enim kasutatud meetod on keemiline meetod, kus eeltöötluks kasutatakse happed, leeliseid, orgaanilisi lahusteid või vett. Keemiliste eeltöötlusmeetodite puuduseks on, et eeltöötluks käigus tekib inhibiitor- ja toksilisi ühendeid, samuti kemikaalid on kallid [6]. Bioloogilises meetodis kasutatakse biomassi rakustruktuuri lõhkumiseks mikroorganisme, nagu näiteks seeni ja baktereid. Bioloogilise eeltöötlusmeetodi suurimaks puuduseks on protsessi kiirus - varieerub mitmest päevast kuni mitme kuuni, samuti tarbivad mikroobid osa glükoosi oma elutegevuse jaoks ära [5]. Mehaanilise meetodi puhul peenestatakse biomassi, kombineerides laasimist, jahvatamist ja purustamist [14]. Antud meetod on kiire - mõni minut. Kuigi eeltöötluks suurendab tselluloosi aktiivsust ensümaatilise hüdrolyüsi jaoks, on ta ikkagi ebaatraktiivne kõrgete kulutuste ja energiakulu tõttu. Füσιο-keemiline eeltöötluks on kombineeritud meetod keemilisest ja mehaanilisest eeltöötluks. Sisuliselt on tegemist hüdrotermilise protsessiga, kus põhiliseks mehhanismiks on kõrge rõhk. Enimlevinum meetod on auruplahvatusel põhinev eeltöötluks. Siiski toksiliste ühendite tekkimine antud protsessis ning mittetäielik ligniini lagunemine on kaks peamist puudust antud protsessis [14].

Antud artikkel keskendub uudsele füσιο-keemilisele - N_2 plahvatusliku rõhu langetusel põhinevale biomassi eeltöötlusmeetodile. Antud eeltöötlusmeetodis segatakse biomass veega ja asetatakse ta reaktorisse. Reaktorit kuumutatakse ning täidetakse rõhu all N_2 gaasiga. Lämmastiku molekulid on vee molekulidest väiksemad, mistõttu tungivad nad paremini biomassi rakudesse. Surve vabastamine võimaldab lämmastikgaasil paisuda, avades tselluloosse biomassi struktuuri ning suurendades ensümaatilise hüdrolyüsi jaoks juurdepääsetavat pindala. Kirjeldatud eeltöötlusmeetod on ökonoomne ja keskkonnasõbralik, kuna ei kasutata lisakemikaale ning ei teki inhibiitorühendeid [7].

Uurimuse eesmärgiks on arendada eelnevalt kirjeldatud eeltöötlusmeetodis kasutatavale reaktori plahvatussüsteemile düüs, mis aitaks biomassi eeltöötluks efektile ja läbiviimisele paremini kaasa.

MATERJAL JA METOODIKA

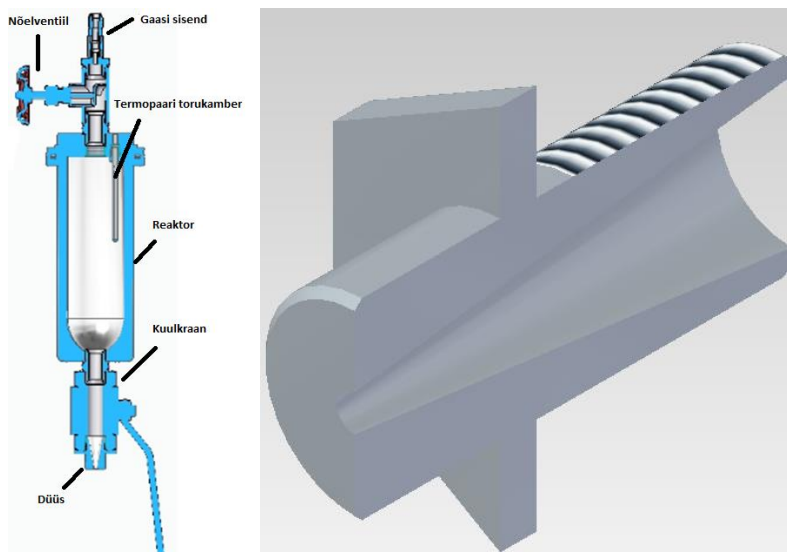
Käesoleva uurimuse käigus tuli defineerida düüsi geomeetriat arvutuste kaudu. Düüsi eesmärgiks on eeltöötluks efekti parendamine ning seadme läbivooluliseks muutmine.

Düüs on toru, mille eesmärgiks on suurendada väljuva voo kiirust, reguleerida voo suunda ja kuju. Düüs algab sealt, kus hakkab toru kamber kitsenema. Düüse kasutatakse turbiinides, reaktiiv- ja rakettmootorites, karburaatorites, jugapumpades jpt. [8]. Joonisel 1 on välja toodud arendatav seade, düüsi asukoht sellel ning düüs.

Seade ja düüs peavad vastama järgmistele nõuetele:

- 1) Seade peab olema pidevprotsessiline;
- 2) Rõhulang peab toimuma düüsi suul;
- 3) Rõhk süsteemis kuni 70bar-i;

- 4) Roostevabast materjalist;
- 5) Juga peab olema suunatud, kuid mitte konsentreeritud ühte punkti;;
- 6) Peab taluma kuni 220°C.

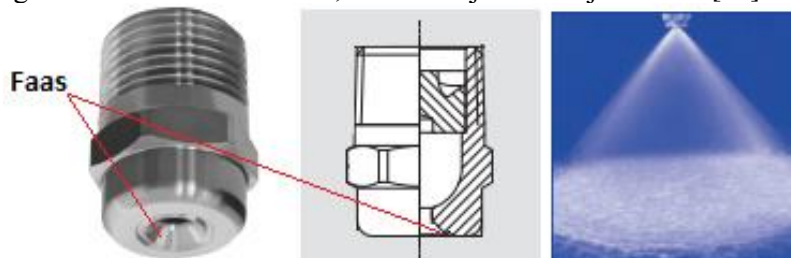


Joonis 1. Ristlambilõige reaktorist (vasakul) ja düüsist (paremal).

Figure 1. Cross section of reactor (on the left) and nozzle (on the right).

Düüsi geomeetria valikul tuleb arvestada nõuetega, pihustatav juga ei tohiks olla kontsentreeritud, sest väljuv biomass oleks suure hõõrdumise mõjuga pihustatavale alale. Selleks, et seda vältida, võiks pihustatav juga väljuda kooniliselt, et tekitada väiksemat võimalikku kahju pihustatavale alale. Samuti liiga laia pihustamisnurgaga ei tohiks samuti düüs olla, kuna siis tekiks eeltöödeldud biomassi kokkukorjamisega raskusi, kui ta on liiga laiali pihustatud.

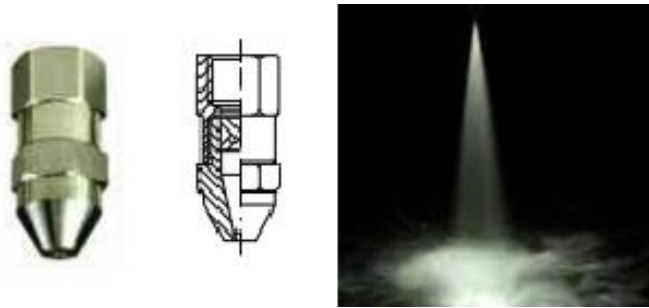
Joa nurk sõltub rõhust ning düüsi suu kujust ja suurusest [13]. Düüsi tootjate katalooge uurides selgub, et joa nurk sõltub samuti osaliselt düüsi suu faasist [11,12]. Laiemat juga tekitab faas düüsi huulel, mis on välja toodud joonisel 2 [11].



Joonis 2. Düüsi faas ja laiem kooniline juga [11].

Figure 2. Nozzle phase and wider conic jet [11].

Kui düüs on seest kitsenevalt koonjas ning düüsi suul ei ole faasi, tekib kitsas kooniline juga, joonisel 3 on näide sellest [12].



Joonis 3. Faasita düüs ja kitsas kooniline juga [12].

Figure 3. Nozzle without phase and narrow conic jet [12].

Plahvatussüsteem koosneb 3/4' toruadaptrist ja kuulkraanist, mille sisediameetriga 16,7mm, see tähendab, et düüsi laiem osa peab samuti olema võrdne või väiksem, kui 16,7mm, et ei tekiks rõhulangu enne düüsi suud. Düüsi suu diameetriga on valitud 5mm, kuna biomassi osakeste diameeter varieerub 1-4mm. Selleks, et arvutada voolukiirus düüsis, tuleb kõigepealt arvutada vooluhulk.

Vooluhulga arvutamiseks on kõigepealt vaja leida düüsi suu pindala. Düüsi suu raadiuseks valiti $r = 0,0025m$:

$$A = \pi * r^2 = 3,14 * 0,0025^2 = 0,000019635m^2, \quad (1)$$

kus A on düüsi suu pindala, m^2 ;
 r – düüsi suu raadius, m .

Samuti tuleb arvutada düüsi laiema osa diameetri suhte düüsi suu diameetriga [9]:

$$\beta = \frac{D_2}{D_1} = \frac{0,005}{0,0167} = 0,299, \quad (2)$$

kus β on düüsi suu ja laiema osa diameetrite suhtekoeffitsient;
 D_1 – düüsi kõige laiema osa sisediameeter, m ;
 D_2 – düüsi suu sisediameeter, m .

Lõpuks tuleb arvutada rõhkude vahe. Teame, et manomeetri näit hakkab pihta 0-st, seetõttu on normaalrõhk $P_2 = 0Pa$ ning teame, et reaktoris sisestakse $P_1 = 300\,000Pa$ rõhku [9]:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 300\,000 - 0 = 300\,000Pa, \quad (3)$$

kus ΔP on rõhkude erinevus, Pa ;
 P_1 – sisestatud rõhk, Pa ;
 P_2 – manomeetri nominaalnäit, Pa .

Nüüd on võimalik leida vooluhulk Q [9]:

$$Q = C_d A Y \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho(1-\beta^4)}} = 0,995 * 0,00019635 * 1 \sqrt{\frac{2*300000}{1024(1-0,299^4)}} = 0,000475 \text{ m}^3/\text{s}, \quad (4)$$

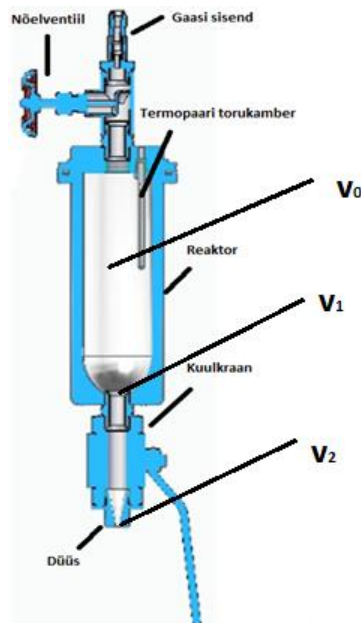
kus C_d on mahalaadimise konstant [9];
 Y – laienemise konstant [9];
 ρ – biomassi tihedus, kg/m^3 [10];
 Q – vooluhulk, m^3/s .

Nüüd on võimalik arvutada biomassi väljumise aeg reaktorist. Teame, et reaktori kasulik maht on $V = 0,0016 \text{ m}^3$:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{0,0016}{0,000475} = 3,337 \text{ s}, \quad (5)$$

kus t on biomassi väljumise aeg reaktorist, s;
 V – reaktori kasulik maht, m^3 .

Biomassi väljumisel reaktorist kasvab voolukiirus 2 korda, kõigepealt toruliitmikes ning seejärel düüsis (Joonis 4.), arvutame, kui suureks kasvab voolukiirus biomassi väljumisel.



Joonis 4. Reaktorist biomassi väljumisel voolukiiruse arvutatud kiirenemise punktid.

Figure 4. Calculated acceleration points of the flow rate of biomass for the exit of the reactor.

Voolukiirus on vooluhulga ja pindala jagatis, vooluhulk Q on leitud valemiga (4) ning pindala A_0 leiame valemiga (1), teades, et reaktori siseraadius on $0,036 \text{ m}$. Leiame kõigepealt voolukiiruse reaktoris v_0 :

$$v_0 = \frac{Q}{A_0} = \frac{0,000475}{0,004071} = 0,167 \text{ m/s}, \quad (6)$$

kus v_0 on voolukiirus reaktoris, m/s ;
 A_0 – reaktori pindala, m^2 .

Teame, et toruliitmike siseraadius on $0,00835 \text{ m}$, seega saame leida pindala A_1 valemiga (1) ning arvutada voolukiiruse v_1 :

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} = \frac{0,000475}{0,000219} = 2,168 \text{ m/s}, \quad (7)$$

kus v_1 on voolukiirus toruliitmikes, m/s ;
 A_1 – toruliitmike pindala, m^2 .

Voolukiirus v_2 düüsisist on:

$$v_2 = \frac{Q}{A} = \frac{0,000475}{0,000019635} = 24,182 \text{ m/s}, \quad (8)$$

kus v_2 on voolukiirus düüsisist, m/s .

Kuna antud arvutused on tehtud rõhule 30 bar, kuid maksimaalne rõhk on 70 bar, siis ülejäänud tulemused on kantud tabelisse 1.

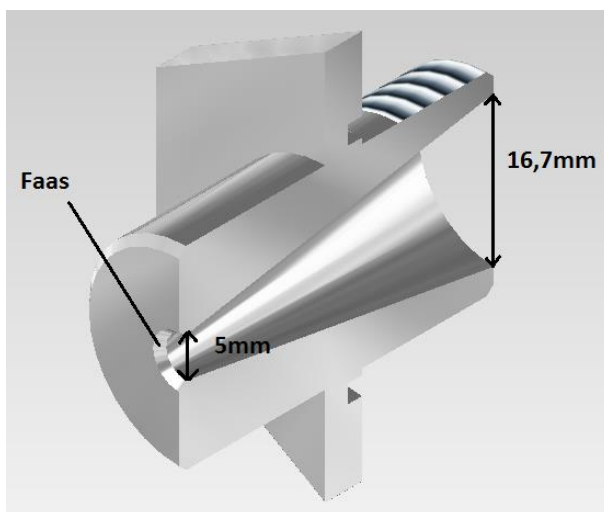
Tabel 1. Tabel arvutustest erineval reaktori sisendrõhul.

	300000 Pa	400000 Pa	500000 Pa	600000 Pa	700000 Pa
$Q, \text{m}^3/\text{s}$	0,000475	0,000548	0,000613	0,000672	0,000725
t, s	3,370	2,918	2,610	2,383	2,206
$v_0, \text{m/s}$	0,167	0,135	0,151	0,165	0,178
$v_1, \text{m/s}$	2,168	2,503	2,799	3,066	3,12
$v_2, \text{m/s}$	24,182	27,923	31,219	34,198	36,939

Düüsi materjaliks peab olema AISI 316 roostevaba teras, mis peaks vastu kõrgetel temperatuuridel ning on samuti korrosioonikindel ja omab suurt keemilist vastupidavust [15].

TULEMUSED JA ARUTELU

Tulemustest selgub, et düüsi suu laiem ava peab olema sisediaameetriga $\leq 16,7 \text{ mm}$, et ei tekiks rõhulangu enne düüsi suud, kitsaim ava 5 mm , et biomass mahuks düüsi suust läbi. Düüse uurides selgus, et düüs peaks olema seest koonjas ja suu juurest faasiga, et juga oleks suunatud, kuid mitte konsentreeritud. Materjaliks peab olema AISI 316.



Joonis 5. Ristlâbilõige defineeritud düüsiist.

Figure 5. Cross section of defined nozzle.

JÄRELDUSED

Uurimuse käigus saadi teada, milline peab olema antud reaktorile düüsi geomeetria. Määramata jäi faasi nurk ning düüsi pihustamiskõrgus, mis tuleks määrata katsetamise käigus.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. **H, B, Aditiya., T, M, I, Mahlia., W, T, Chong., H, Nur., A, H, Sebyang.** (2016). Second generation bioethanol production: A critical review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 66. Lehekülg 631-653. Kättesaadav: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116303434> (18.03.2018)
2. **P, S, Nigam., A, Singh.** (2011). Production of liquid biofuels from renewable resources. Progress in Energy and Combustion Science. Volume 37. Leheküljed 52-68. Kättesaadav: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360128510000353> (18.03.2018)
3. **S, N, Naik., V, V, Goud., P, K, Rout., A, K, Dalai.** (2010). Production of first and ssecond generation biofuels: A comprehensive review. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Volume 14. Leheküljed 578-597. Kättesaadav: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032109002342> (18.03.2018)
4. **P, F, H, Harmsen., W, J, J, Huijgen., L, M, Bermúdez López., R, R, C, Bakker.** (2010). Literature Review of Physical and Chemical Pretreatment Processes for Lignocellulosic Biomass. Wageningen University & Research centre - Food & Biobased Research. Lehekülg 21. Kättesaadav: <https://www.ecn.nl/docs/library/report/2010/e10013.pdf> (18.03.2018)
5. **H, Chen., J, Liu., X Chang., D, Chen., Y, Xue., P, Liu., H, Lin., S, Han.** (2017). A review on the pretreatment of lignocellulose for high-value chemicals. Fuel Processing Technology. Lehekülg 196-206. Kättesaadav: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378382016311766> (18.03.2018)

6. **F, M, Girio., C, Fonseca., F, Carvalho., L, C, Duarte., S, Marques., R, B-Lukasik.** (2010). Hemicelluloses for fuel ethanol: A review. *Bioresource Technology*. Volume 101. Lehekülg: 4775-4800. Kättesaadav: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852410001744> (18.03.2018)
7. **M, Raud., J, Olt., T, Kikas.** (2016). N₂ explosive decompression pretreatment of biomass for lignocellulosic ethanol production. *Biomass and Bioenergy*. Volume 90. Lehekülg 1-6. Kättesaadav: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953416300964#bib12> (18.03.2018)
8. **I, Martinez.** (s.a). Nozzles. Kättesaadav: <http://webserver.dmt.upm.es/~isidoro/bk3/c17/Nozzles.pdf> (27.03.2018)
9. https://neutrium.net/fluid_flow/calculation-of-flow-through-nozzles-and-orifices/ (18.03.2018)
10. **V, Rooni.** (2015). LIGNOTSELLULOOSSE TOORME LAGUNDAMINE PLAHVATUSLIKU RÕHUMUUTUSE MEETODIL. Magistritöö. Eesti Maaülikool.
11. **Lechler.** (s.a). Full cone nozzles. Tootekataloog. Kättesaadav: https://www.lechler.de/is-bin/intershop.static/WFS/LechlerDE-Shop-Site/LechlerDE-Shop/en_US/PDF/05_service_support/industrie/katalog/englisch/112/03_Full_cone_GB_0616.pdf (29.03.2018)
12. **PNR.** (s.a). Full cone nozzles – Technology. Tootekataloog. Kättesaadav: <http://www.pnr.eu/wp-content/uploads/2017/05/FULL-CONE-NOZZLES.pdf> (29.03.2018)
13. **Nozzle Network Co.** (s.a). Nozzle performance data. The World of Nozzles: Practical Edition Valuable Tips on Selecting Nozzle. Kättesaadav: http://www.nozzle-network.com/knowledge/know_practical_7.html (29.03.2018)
14. **P, Kumar., D, M, Barrett., M, J. Delwiche., P, Stroeve.** (2009). Methods for Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Efficient Hydrolysis and Biofuel Production. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. Kättesaadav: <http://ucanr.edu/datastoreFiles/234-1388.pdf> (30.03.2018)
15. **Vikipeedia.** (2015). AISI-316. Kättesaadav: <https://et.wikipedia.org/wiki/AISI-316> (31.03.2018)